

Pojucan Veiga Pereira Segundo

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DA SEGURANÇA  
NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA UTILIZANDO A  
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Dissertação de Mestrado submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, da Universidade  
Federal de Santa Catarina, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título  
de Mestre em Engenharia Civil.  
Orientador: Prof. Dr. Amir Valente  
Mattar

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira Segundo, Pojucan Veiga

Método para avaliação do nível da segurança no Transporte Rodoviário de Carga utilizando a Análise Envolvória de Dados / Pojucan Veiga Pereira Segundo ; orientador, Amir Valente Mattar - Florianópolis, SC, 2016.

130 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Segurança Viária. 3. Transporte Rodoviário de Cargas. 4. Análise Envolvória de Dados. I. Mattar, Amir Valente. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Pojucan Veiga Pereira Segundo

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO NÍVEL DA SEGURANÇA  
NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA UTILIZANDO A  
ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**

Dissertação julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 03 de março de 2016.

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso – PPGEC - UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Amir Valente Mattar, Dr.  
Orientador - UFSC

---

Prof<sup>ª</sup>. Liseane Padilha Thives, Dr<sup>a</sup>.  
PPGEC – UFSC

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
UFSC

---

Prof. Ivan Ricardo Gartner, Dr.  
UNB



Este trabalho é dedicado aos meus pais, Pojucan (*in memoriam*) e Neide, por terem me ensinado a nunca desistir dos meus sonhos, aos meus irmãos, Harrison e Juliana, pela amizade e companheirismos e a Mayara e Pérola por terem me acompanhado e iluminado nesta caminhada.



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, apesar de minhas falhas e insuficiência, sempre me ilumina.

Aos meus pais, que com tantos esforços e abnegações deram-me a oportunidade de buscar meus sonhos e objetivos, e serão sempre, meus maiores exemplos.

Meus irmãos, que com apoio e companheirismo, fizeram parte desta jornada.

À Mayara e Pérola, que me motivaram e apoiaram incondicionalmente, com seu amor e sua alegria.

Aos meus familiares, que com seu carinho e incentivo, sempre me apoiaram.

Aos meus amigos que contribuíram com conhecimentos e apoio em todas as etapas deste trabalho.

Ao meu orientador, Amir Mattar Valente, por ter me acolhido e aceitado o desafio de trabalhar com este tema.

Aos professores, sempre disponíveis e dispostos a ajudar, que contribuíram não somente para a melhoria do trabalho, como também para meu crescimento pessoal e profissional.

À Banca pela participação, disponibilidade e contribuições realizadas.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, do desenvolvimento e conclusão deste trabalho.





“Sonhos são meios de transporte. Foguete que te leva a lua,  
submarino que te leva as profundezas e fé que te leva aos céus”.

Alyson Bento Guilherme



## RESUMO

Este estudo apresenta uma proposta de avaliação do nível da segurança no Transporte Rodoviário de Carga (TRC), em termos do número de acidentes e mortes envolvendo caminhões, definido as unidades mais eficientes. Para tanto, utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), uma técnica que busca medir a eficiência relativa de um conjunto de unidades produtivas, utilizando vários insumos e produtos. A partir disso, foi desenvolvido um método para analisar as unidades relacionadas ao TRC em termos de segurança quanto a acidentes e mortes. O modelo proposto neste método possui orientação para as saídas, e quanto ao retorno de escala foi definido o modelo variável BCC. De posse do método constituído, realizou-se uma aplicação deste à região Alfa, que foi seccionada em quinze unidades de tomada de decisão (DMU), sendo essas avaliadas a partir de dezesseis variáveis relacionadas ao TRC. Assim, foi criado um ranking das unidades, sendo classificadas de acordo com sua eficiência em não produzir as saídas indesejáveis (*outputs*), acidentes e morte envolvendo caminhões, tendo como base uma avaliação das variáveis de entrada (*inputs*) previamente selecionadas. Dentre as DMUs avaliadas, a Localidade C é a mais eficiente quanto à segurança no TRC, podendo ser utilizada como *benchmarking* pelas unidades ineficientes, favorecendo assim, ações públicas e privadas visando a melhoria de seus indicadores de segurança quanto a acidentes e mortes no TRC.

Palavras-Chave: Análise Envoltória de Dados. Transporte Rodoviário de Cargas. Segurança.



## **ABSTRACT**

This study presents a proposal for evaluation of the safety level in the Cargo Road Transport (CRT) in terms of the number of accidents and deaths involving trucks, defined the most efficient units. For this, it was used the Data Envelopment Analysis (DEA), a technique that seeks to measure the relative efficiency of a set of production units using various inputs and outputs. From this, it was developed a method to analyze the units related to the TRC in terms of safety as accidents and deaths. The model proposed in this method has orientation for the inputs, and on the scale of return was set the variable model BCC. Possession of composed method, there was an application of the Alpha area, which was sectioned in fifteen decision-making units (DMU) and those evaluated from sixteen variables related to CRT. Thus was created a ranking of the units, classified according to their efficiency in not producing undesirable outputs, accidents and deaths involving trucks, based on an assessment of input variables previously selected. Among the evaluated DMU, the Location C is the most efficient for safety on the CRT can be used as a benchmark by the inefficient units, thus favoring public and private actions to improve its safety indicators as accidents and deaths at CRT.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis. Cargo Road Transport. Safety.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Categorias do transporte de cargas .....	30
Figura 2 - Matriz do transporte de carga no Brasil.....	38
Figura 3 - Matriz de transporte de cargas de alguns países com dimensões territoriais semelhantes às brasileiras .....	38
Figura 4 - Matriz de transporte de cargas esperada para o ano de 2025	39
Figura 5 - Distribuição das infraestruturas de transportes nas regiões do Brasil .....	40
Figura 6 - Análise DEA para um conjunto de empresas .....	51
Figura 7 - Fronteiras padrão clássica e a invertida .....	59
Figura 8 - Processo em modelagem DEA .....	60
Figura 9 - Fluxograma para aplicação DEA.....	62
Figura 10 - Fluxograma do método.....	76
Figura 11 - Representação gráfica do DEA.....	88
Figura 12 - Interface do <i>software</i> SIAD.....	105
Figura 13 - Dados dispostos em arquivo específico (.txt) .....	106





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Registros emitidos para transportadores .....	35
Tabela 2 - Quantidade de transportadores por região.....	43
Tabela 3 - Composição do custo do transporte rodoviário .....	45
Tabela 4 - Quadro comparativo dos modelos da técnica DEA.....	54
Tabela 5 - Exemplos de DMUs utilizadas em trabalhos com base na técnica DEA .....	80
Tabela 6 - Possibilidades de DMUs a serem avaliadas com o uso da técnica DEA .....	80
Tabela 7 - Algumas variáveis que descrevem as esses temas .....	82
Tabela 8 - <i>Softwares</i> específicos para Análise Envoltória de Dados.....	89
Tabela 9 - Variáveis propostas nesta etapa.....	94
Tabela 10 - Dados utilizados neste trabalho.....	95
Tabela 11 - Dados utilizados neste trabalho (Continuação).....	96
Tabela 12 - Dados utilizados neste trabalho (Continuação).....	96
Tabela 13 - Unidades de Tomada de Decisão (DMU) consideradas.....	97
Tabela 14 - Estatística básica .....	99
Tabela 15 - Estatística básica (Continuação).....	99
Tabela 16 - Testes de Valores Extremos .....	100
Tabela 17 - Testes de normalidade dos dados pelo método de Shapiro- Wilk.....	101
Tabela 18 - Testes de normalidade dos dados pelo método de Anderson- Darling.....	102
Tabela 19 - Teste de Correlação.....	103
Tabela 20 - Teste de Correlação (Continuação).....	103
Tabela 21 - Variáveis que possuem correlação aceitável .....	104
Tabela 22 - Variáveis que comporão o modelo.....	105
Tabela 23 - Análise de <i>Cluster</i> .....	105
Tabela 24 - Resultados de eficiência para o modelo .....	108
Tabela 25 - Resultados do método classificados de acordo com a eficiência, seguindo o método proposto neste trabalho ....	110



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCR	Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BBC	Banker, Charnes e Cooper (Modelo DEA)
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes (Modelo DEA)
CDL	<i>Commercial Driver's License</i> (Licença para motoristas comerciais)
CENEPI	Centro Nacional de Epidemiologia
CI	<i>Composite Indicator</i> (Indicador Composto)
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
COPPEAD	Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i> (Retornos Constantes de Escala)
CTC	Cooperativas de Transporte de Cargas
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (SUS)
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> (Análise Envoltória de Dados)
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DMU	<i>Decision Making Unit</i> (Unidades de Tomada de Decisão)
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DO	Declaração de Óbito
DPVAT	Danos pessoais causados por veículos automotores de via terrestre
EP	Eficiência Produtiva
ETC	Empresa de Transporte de Carga
ETP	Empresa de Carga Própria
FDH	<i>Free Disposal Hull</i> (Fronteira com livre descarte de recursos)
FMCSA	<i>Federal Motor Carrier Safety Administration</i>
IML	Instituto Médico Legal
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ML-CI	<i>Multiple Layers</i> (Múltiplas Camadas)
NDRS	Retornos não Decrescentes de Escala
NIRS	Retornos não Crescentes de Escala

OMS	Organização Mundial da Saúde
OTM	Operador de Transporte Multimodal
PIB	Produto Interno Bruto
PNLT	Plano Nacional de Logística de Transportes
RIEM	Modelo de Eficácia das Intervenções em Estradas
RNTRC	Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas
SIAD	Sistema Integrado de Apoio a Decisão
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade
SUS	Sistema Único de Saúde
TAC	Transportadores Autônomos
TCE	Tribunal de Contas dos Estados Brasileiros
TCP	Transportadores de Carga Própria
TRC	Transporte Rodoviário de Cargas
TRRC	Transporte Rodoviário Remunerado de Cargas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USDOT	Departamento dos Transportes dos Estados Unidos
USP	Universidade de São Paulo
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i> (Retornos Variáveis de Escala)
XLSTAT	<i>Software</i> Estatístico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	23
1.2	JUSTIFICATIVA .....	24
1.3	OBJETIVOS .....	25
1.4	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	26
1.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	26
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	27
<b>2</b>	<b>TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS (TRC) .....</b>	<b>29</b>
2.1	CATEGORIAS DO TRANSPORTE DE CARGAS .....	30
2.1.1	Transporte de carga em função da mercadoria .....	30
2.1.2	Transporte de carga em função do transportador.....	31
2.2	AGENTES DO TRC.....	32
2.3	MATRIZ DO TRANSPORTE DE CARGAS .....	37
2.4	MERCADO DO TRC NO BRASIL .....	41
2.5	ACIDENTES NO TRC.....	43
<b>3</b>	<b>ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA).....</b>	<b>47</b>
3.1	MODELOS DEA .....	52
3.1.1	Modelo CCR.....	53
3.1.2	Modelo BCC .....	55
3.2	FRONTEIRA INVERTIDA .....	58
3.3	PROCEDIMENTO PARA APLICAÇÃO DO DEA .....	60
3.4	CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES DA DEA.....	63
3.5	ESTUDOS RELEVANTES SOBRE A DEA .....	65
<b>4</b>	<b>ESTUDOS RELACIONADOS E PRÁTICAS .....</b>	<b>67</b>
4.1	ESTUDOS RELACIONADOS .....	67
4.2	PRÁTICAS .....	71
<b>5</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>75</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	75
5.2	ETAPAS CONSTITUINTES DO MÉTODO.....	76
5.2.1	Etapa 01 - Levantamento Inicial .....	77
5.2.2	Etapa 02 - Unidade de Tomada de Decisão (DMU) .....	77
5.2.3	Etapa 03 - Análise e Seleção de Variáveis.....	79
5.2.4	Etapa 04 - Definição do Modelo DEA .....	84
5.2.5	Etapa 05 - Processamento do modelo DEA .....	86
5.2.6	Etapa 06 - Resultados .....	89
5.2.7	Etapa 07 - Análise de Resultados.....	89
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO .....</b>	<b>91</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	91
6.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	91

6.3	ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	92
6.3.1	Etapa 01 - Levantamento Inicial .....	92
6.3.2	Etapa 02 - Unidades de Tomadas de Decisão (DMU) .....	94
6.3.3	Etapa 03 - Análise e Seleção de Variáveis .....	95
6.3.4	Etapa 04 - Definição do Modelo DEA .....	104
6.3.5	Etapa 05 - Processamento do modelo DEA .....	104
6.3.6	Etapa 06 - Resultados .....	107
6.3.7	Etapa 07 - Análises de Resultados .....	108
7	CONCLUSÃO .....	111
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	111
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	112
	REFERÊNCIAS .....	115

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma abordagem ao contexto em que está inserido o trabalho, apresentando-se as considerações iniciais, justificativas, objetivos, metodologia e estrutura do mesmo.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os acidentes de trânsito se constituem num grave problema social e econômico de desperdícios materiais e humanos, que ceifam milhares de vidas anualmente no Brasil. O País é um dos recordistas mundiais de acidentes de trânsito, representando um alto custo social (FRENTE TRÂNSITO SEGURO, 2009).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2009) morrem mais de 1,2 milhão de pessoas por ano devido a acidentes de trânsito no mundo, além de um número entre 20 e 50 milhões de vítimas com traumatismos não fatais, muitos com sequelas graves definitivas que impedem uma vida normal. Mais de 90% dessas vítimas fatais vivem em países de renda baixa ou média, apesar de os mesmos concentrarem apenas 48% dos veículos do mundo.

Segundo o Banco Mundial, os acidentes de trânsito representam ainda, anualmente, de 1 a 3% do produto nacional bruto de um país. Considerando apenas os países com desenvolvimento médio ou baixo, os acidentes passarão a ocupar, em 2020, a 2ª posição, perdendo apenas para cardiopatia (FERRAZ; RAIA JÚNIOR; BEZERRA, 2008).

Para se ter uma ideia da gravidade do problema, o risco de envolvimento em acidentes é de 5 a 10 vezes maior, nos países em desenvolvimento, levando-se em conta que os países desenvolvidos, a despeito de experimentarem um crescimento similar de acidentes durante as suas respectivas fases de motorização, foram extremamente bem sucedidos em reverter esta tendência nos últimos 20 anos. (BRASIL, 2004)

Em 2008, houve em torno de 36 mil mortes em decorrência dos acidentes de trânsito no Brasil (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010). Isso representa um custo estimado de 31,42 bilhões de reais, correspondente a aproximadamente 1,23% do PIB brasileiro no mesmo ano.

Visto como uma questão de saúde pública, o acidente de trânsito é, na verdade, uma das mais devastadoras doenças da sociedade moderna, respondendo por quase 10% dentre todas as causas de morte

prematura entre pessoas na faixa etária de 5 a 44 anos, nos países desenvolvidos (BRASIL, 2004).

O desenvolvimento do Brasil é vinculado a matriz rodoviária. A configuração socioeconômica brasileira junto ao transporte rodoviário acaba elevando o fluxo de caminhões nas rodovias e, conseqüentemente, aumenta o número de acidentes de trânsito envolvendo caminhões e veículos de carga.

Diante dessas evidências, este trabalho visa propor um método para facilitar a compreensão das causas promotoras de acidentes, a partir do uso de uma ferramenta denominada Análise Envoltória de Dados (DEA), a fim de que o Estado e instituições privadas possam tomar devidas providências, no intuito de corrigir possíveis deficiências do sistema rodoviário.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A mensuração (quantificação) da acidentalidade no trânsito é de fundamental importância para a avaliação objetiva da segurança viária. Somente com valores numéricos é possível comparar a situação da acidentalidade em diferentes locais (países, estados, municípios etc.), bem como em um mesmo espaço geográfico em diferentes épocas – o que é imprescindível na avaliação de ações voltadas para a redução dos acidentes, mortes e feridos no trânsito (BASTOS, 2011).

No país, o transporte rodoviário de cargas é bastante representativo nas relações sociais e econômicas contemporâneas. Segundo dados da CNT (2016), 61,1% da movimentação de cargas realizadas no país são feitas em caminhões. Ainda segundo essa fonte, existem entre empresas, cooperativas e autônomos 1.020.505 no transporte rodoviário de cargas cadastrados no país, com mais de 2.243.548 veículos registrados (ANTT, 2014).

Diversos fatores influenciam a incidência cada vez maior de acidentes nas estradas brasileiras. Segundo um levantamento realizado pela Confederação Nacional do Transporte, um caminhoneiro possui, em média, uma jornada de trabalho de aproximadamente 15 horas diárias, por mais de cinco mil quilômetros por mês. O excesso de jornada de trabalho e as longas distâncias percorridas pelos caminhoneiros são dois dos fatores que contribuem para a incidência de acidentes envolvendo caminhões nas rodovias brasileiras.



Os acidentes envolvendo caminhões são frequentes e cada vez mais trágicos. As consequências dos acidentes de trânsito atingem proporções cada vez maiores e das mais diversas naturezas.

No Brasil, a mensuração da segurança no trânsito é expressa por intermédio dos índices de mortes por habitante ou por veículo, pois não há séries temporais oficiais com valores da quilometragem média anual ou total da frota rodoviária (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006). Nesse sentido, há a necessidade da adoção de um método para classificar a segurança em termos de acidentes, pois o conhecimento desse parâmetro seria de extremo interesse para a elaboração de um diagnóstico mais preciso da acidentalidade no trânsito do país, bem como para a definição de políticas públicas (planos de ações) mais adequadas para a redução dos acidentes e, consequentemente, das mortes no trânsito.

A expressividade do problema da acidentalidade viária no mundo, em particular no Brasil evidencia que a cada dia é maior a necessidade da realização de estudos acerca do tema e da implementação de ações voltadas para o aumento da segurança no trânsito.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é a criação de um método para a avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de carga, a partir do uso da Análise Envoltória de Dados. Dentro desse objetivo geral, situam-se como objetivos específicos do trabalho:

- Sistematizar os principais conceitos da literatura sobre o Transporte Rodoviário de Cargas e Análise Envoltória de Dados;
- Elaborar revisão da literatura sobre as principais práticas e estudos teóricos relacionados aos temas da pesquisa;
- Identificar as variáveis que afetam a segurança no Transporte Rodoviário de Cargas;
- Analisar variáveis de *input* e *output* de relevância para o estudo dos acidentes no transporte rodoviário de cargas;
- Desenvolver uma aplicação do método proposto, visando à comprovação de sua funcionalidade e viabilidade.

## 1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta seção é reservada aos aspectos metodológicos, sendo apresentado o tipo, o método, o universo e a amostra da pesquisa.

De acordo com Richardson (1999), método de pesquisa significa a escolha de procedimentos sistemáticos para a descrição e explicação de fenômenos.

A classificação usual das pesquisas acadêmicas é feita com base em seus objetivos gerais (GIL, 2006). De acordo com o objetivo geral do trabalho, o tipo de pesquisa utilizada é a pesquisa descritiva, utilizando como delineamento a pesquisa bibliográfica e documental, que considera o ambiente em que são coletados os dados, bem como as formas de controle das variáveis envolvidas (LAKATOS e MARCONI, 2004).

Como método de pesquisa, foi adotado o método quantitativo, com o uso da técnica não paramétrica de programação linear de análise envoltória de dados. Como o trabalho é baseado em dados reais, é um estudo empírico-analítico, uma vez que, ocupado com a codificação da face mensurável da realidade social, utiliza-se de técnicas de coleta, tratamento e análise de dados marcadamente quantitativas (KASSAI, 2002).

Tem, ainda, caráter exploratório, no sentido de obter maiores informações sobre determinado assunto, com a finalidade de formular problemas e hipóteses para estudos posteriores, bem como um caráter multidisciplinar, envolvendo, entre outras, as áreas de Matemática, Estatística e Engenharia.

## 1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho apresenta algumas limitações quanto sua elaboração, algumas delas listadas a seguir:

- Uma das maiores dificuldades quando se trabalha com transporte no Brasil é a carência de dados estruturados para as mais diversas análises. Não há um banco de dados unificado com informações estatísticas de coleta de tráfego, informações de fluxo, tão pouco de acidentes de trânsito;
- Outra dificuldade consiste na divergência entre os bancos de dados, como por exemplo, as estatísticas sobre o número de mortes. As três principais fontes para essa informação o Datasus,

DPVAT e o Denatran possuem diferenças na ordem de 30% para essa mesma variável;

- Os dados utilizados na aplicação do método foram sugeridos pelo autor, apesar de serem baseados em estatísticas reais;
- Na aplicação do método houve um reduzido número de variáveis consideradas, o que limitou a escolha para composição no modelo;
- Nas variáveis Distancia Percorrida, Condição do Pavimento, Malha Total, Malha Pavimentada, Idade Média, Mortes Totais, Acidentes Totais, Mortes Caminhões e Acidentes Caminhões os dados utilizados são referentes somente as rodovias federais;
- O SIAD®, *software* utilizado para realizar o processamento do modelo DEA, apesar de funcional e prático, é demasiadamente simples, contemplando apenas análises baseada em modelos BCC e CCR, dentre as várias possibilidades de modelos existentes. Além disso, o modelo não apresenta a possibilidade de geração do gráfico da Fronteira de Eficiência;
- A carência de estudos envolvendo a Análise Envoltória de Dados ainda é grande. No Brasil, há ainda poucos grupos de pesquisa com o enfoque voltado para essa área. Internacionalmente, apesar de mais amplamente estudado, há poucas iniciativas em estudos que envolvam transportes.

## 1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. No Capítulo 1, Introdução, é feita a abordagem ao contexto em que está inserido o trabalho, apresentando-se as considerações iniciais, justificativas, objetivos, metodologia e limitações do trabalho.

No Capítulo 2, Transporte Rodoviário de Cargas, é apresentada a revisão de literatura abrangendo temas que dizem respeito ao transporte rodoviário de cargas, bem como de acidentes e informações relevantes a pesquisa.

No Capítulo 3, Análise Envoltória de Dados, é apresentada a revisão de literatura sobre conceitos e definições da metodologia DEA, bem como seu histórico. Ainda são apresentados os modelos, características, limitações e estudos existentes sobre o tema.

No Capítulo 4, Estudos Relacionados e Práticas, são apresentados os principais estudos relacionados com os temas da pesquisa.

Posteriormente, serão apresentadas algumas praticas em termos de segurança viária.

No Capítulo 5, Método, são descritos os procedimentos utilizados para a construção do método proposto, sendo apresentados o programa de trabalho e as etapas de efetivação.

No Capítulo 6, Aplicação do Método, é desenvolvida uma aplicação do método proposto, sendo descrita cada etapa do processo, visando comprovar sua aplicabilidade.

Ao final do trabalho, no Capítulo 7, Conclusão, são ponderados os objetivos compreendidos pela pesquisa e concretização dos mesmos, além das recomendações para trabalhos futuros.

## 2 TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS (TRC)

Inicialmente, antes de caracterizar o transporte de cargas, é necessário conceituar o termo transporte. Manheim (1980) define genericamente o termo como o movimento de pessoas e bens de um lugar para outro. Diversos autores também se utilizam de conceitos similares (FERRAZ E TORRES, 2004; RODRIGUES, 2003). Porém, para Galindo (2009), as definições acerca do termo transporte evoluíram de sua ideia inicial, que considerava apenas o movimento, para conceitos que consideram um deslocamento intencional, não sendo, portanto, considerado transporte o deslocamento casual de pessoas, produtos ou quaisquer objetos.

Rodrigues (2014) utiliza um conceito mais amplo, no qual o transporte é uma atividade indispensável ao funcionamento de qualquer economia, consumindo uma enorme quantidade de recursos naturais e reservas de energia no deslocamento de pessoas e cargas de um local para outro. Sandroni (2005) conceitua o transporte como um meio ou serviço pelo qual se deslocam pessoas ou mercadorias.

Do ponto de vista econômico, Lopes (2009), no campo das ciências econômicas, considera-se que o transporte é detentor de valor e é transacionado no mercado de forma similar às transações de mercadorias comuns. A autora ainda ressalta que a atuação do transporte vai ainda além de servir como mercadoria de troca para transações no mercado, pois o transporte é capaz de encadear efeitos na economia, os quais podem ser positivos para alguns atores e negativos para outros.

A Agência Nacional dos Transportes Terrestres (ANTT), define Transporte Rodoviário de Cargas (TRC) como o serviço de transporte de mercadorias, executado por transportadores remunerados, utilizando o modo rodoviário (ANTT, 2008). De acordo com Freitas (2004), considera-se Transporte rodoviário de cargas “aquele que se realiza em estradas de rodagem, com utilização de veículos como caminhões e carretas”.

Para Schroeder e Castro (2000), a opção pelo modo rodoviário, no que diz respeito ao transporte de carga, é um fenômeno quase mundial que se observa desde a década de 50, tendo como base a expansão da indústria automobilística associada aos baixos preços dos combustíveis derivados do petróleo.

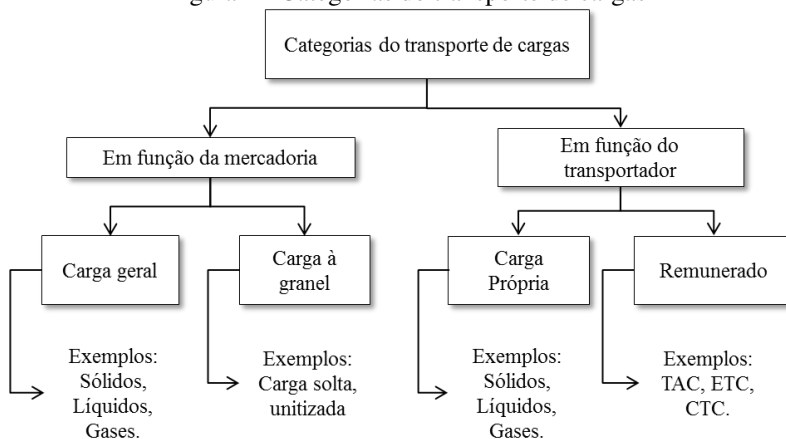
Conforme Freitas (2004), o transporte rodoviário apresenta pontos positivos consideráveis e outros negativos que defasam o seu uso. Em países como o Brasil, com dimensões continentais, o transporte rodoviário apresenta-se como um modo de grande flexibilidade,

possibilitando a integração de diferentes e remotas regiões do país. Pode-se destacar que este modo possibilita uma disponibilidade maior para o embarcador, ou seja, sua flexibilidade em termos de tempo e espaço possibilita esta pronta disponibilidade.

## 2.1 CATEGORIAS DO TRANSPORTE DE CARGAS

As categorias do transporte de cargas dependem da abordagem utilizada, podendo ser analisadas de acordo com a necessidade de cada estudo. A Figura 1 exemplifica as categorias do transporte de cargas em função da mercadoria e em função do transportador.

Figura 1 - Categorias do transporte de cargas



Fonte: adaptado de Tedesco (2012)

De acordo com Figura 1, o transporte de cargas pode ser dividido em função do tipo de mercadoria e em função do transportador, como descrito a seguir.

### 2.1.1 Transporte de carga em função da mercadoria

A categoria de transporte de carga em função da mercadoria pode ser subdividida em duas frentes: transporte de carga geral e de carga a granel.

Para Rodrigues (2007) o transporte de carga geral corresponde ao deslocamento de volumes fracionados e acondicionados, ou ainda, aos

volumes unitários de grande porte e sem embalagem. Nesta categoria está também classificado o transporte de cargas especiais, as quais exigem cuidados diferenciados e específicos. São exemplos de cargas especiais: mercadoria refrigerada, congelada, cargas vivas e cargas perigosas. A carga geral também pode ser subclassificada com base no seu acondicionamento, sendo subdividida em soltas (itens avulsos, embarcados separadamente) ou unitizadas: agrupamentos de vários itens em unidades de transporte.

O transporte de carga a granel é aquele que movimentava cargas homogêneas, normalmente as chamadas commodities, que são negociadas em grandes lotes, sem a necessidade de acondicionamento ou embalagem, apresentando-se sob a forma de sólidos, líquidos e gases. A carga a granel do tipo sólida pode ser subclassificada em minério ou grão (produtos de origem vegetal, safras agrícolas, rações, fertilizantes, além de alguns produtos de origem mineral); os líquidos podem ser subclassificados em derivados de petróleo e não derivados de petróleo (RODRIGUES, 2007).

### **2.1.2 Transporte de carga em função do transportador**

Quando a análise é em função do transportador a subdivisão é feita de duas maneiras: Transporte Rodoviário de Carga Própria (TCP) e o Transporte Rodoviário Remunerado de Cargas (TRRC).

O Transporte Rodoviário de Carga Própria é aquele tipo de serviço realizado por transportadores que não possuem o transporte como sua atividade-fim. Do mesmo modo, esses transportadores não prestam serviço de transporte remunerado, uma vez que eles transportam suas próprias cargas. No TCP, a nota fiscal dos produtos tem como emitente ou destinatário a empresa, entidade ou indivíduo proprietário ou arrendatário do veículo utilizado no transporte (TEDESCO, 2012).

Tedesco (2012) infere que devido a essas características, não se pode afirmar que essa categoria de transporte seja participante do mercado de transporte rodoviário de cargas, uma vez que não são estabelecidos contratos para a prestação de serviço. Apesar disso, por figurar como uma alternativa à contratação de transporte para a movimentação de mercadorias, o TCP deve ser considerado como uma atividade que influencia e impacta o mercado de transporte rodoviário de cargas. A análise desses impactos não é objeto de estudo desse trabalho.

O Transporte Rodoviário Remunerado de Cargas (TRRC) é aquele em que um acordo comercial é estabelecido entre um contratante, que demanda o serviço de transporte, e um transportador, que executa esse serviço. O TRRC pode ser realizado por empresas, cooperativas ou transportadores autônomos, os quais exercem a atividade de transporte mediante remuneração (BRASIL, 2007).

## 2.2 AGENTES DO TRC

Para compreender as tomadas de decisão em transporte, é importante entender o ambiente de transporte (BOWERSOX E CLOSS, 2001). Vários agentes atuam no mercado do transporte rodoviário de cargas, cada um com uma função específica. Diretamente envolvidos, os transportadores, embarcadores e os destinatários são os principais, haja vista sem algum deles não há ação de transporte. Além destes, alguns outros agentes participam deste setor contribuindo de acordo com a relação instituída.

Segundo Alano (2003), as transações de transporte em geral são normalmente influenciadas por cinco componentes:

- Embarcador;
- Destinatário;
- Transportador;
- Agentes governamentais;

Além destes, podemos destacar o público, os operadores logísticos e os operadores de transporte multimodal. A seguir uma breve descrição de cada um destes.

- Embarcador e Destinatário

Para Gomes (2006), o Embarcador e o Destinatário têm o objetivo comum de movimentar mercadorias da origem até o destino em determinado tempo, ao menor custo possível. A contratação do transporte poderá ficar a cargo tanto de um como de outro ou, em comum acordo, dos dois, conforme estabelecido.



- Transportador

Conforme Gomes (2006), o Transportador é responsável pela movimentação da carga entre o embarcador e o destinatário, seu objetivo é aumentar a receita bruta com a transação e ao mesmo tempo minimizar os respectivos custos necessários. A transportadora sempre cobra a taxa mais alta aceitável pelo remetente (ou destinatário).

Quando o serviço de transporte é remunerado e executado por terceiros, o transportador é obrigado a obter uma habilitação (BRASIL, 2007), que somente pode ser conseguida com a efetivação de seu registro no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC), sistema cuja responsabilidade é da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

O RNTRC exige o atendimento a requisitos mínimos para que empresas, cooperativas e autônomos possam se registrar e conseguir a habilitação para realizar a atividade remunerada de transporte de cargas (ANTT, 2009). A Tabela 1, mostra a composição do mercado de transporte de carga de acordo com os registros emitidos pela ANTT.

Tabela 1 - Registros emitidos para transportadores

<b>Tipo do Transportador</b>	<b>Registros Emitidos</b>	<b>%</b>	<b>Veículos</b>
Autônomo	819.011	83,57%	980.514
Empresa	160.635	16,39%	1.178.397
Cooperativa	397	0,04%	17.777
Total	980.043		2.176.688

Fonte: ANTT (2014)

Percebe-se a grande participação dos transportadores autônomos, com mais de 80% dos registros, o que demonstra a importância desse componente no mercado de transporte de carga.

De acordo Gomes (2006), o segmento de transporte de carga no Brasil está particionado em transportadores de cargas de terceiros (ETC), transportadores de carga própria (TCP), ligados a produtores que possuem frota própria, transportadores autônomos (TAC), que realizam transporte de forma independente.

Além desses, em alguns casos, segundo Tedesco (2012), as próprias indústrias e produtores de bens realizam o transporte de seus produtos. Nesse caso, o serviço é denominado Transporte de Carga Própria (TCP), não sendo uma atividade remunerada nem regulada pelo

Governo Federal. A seguir, uma breve descrição de cada um destes componentes.

✓ Transportadores Autônomos de Cargas (TAC)

Artigo 1º da Lei nº. 7.290/1984 conceitua Transportador Rodoviário Autônomo de bens a pessoa física, proprietário ou coproprietário de um só veículo, sem vínculo empregatício, devidamente cadastrado em órgão disciplinar competente que, com seu veículo, contrate serviço de transporte a frete, de carga ou de passageiro, em caráter eventual ou continuado, com empresa de transporte rodoviário de bens, ou diretamente com os usuários desse serviço.

A condução do veículo é dada pelos próprios profissionais que podem ser comissionados ou remunerados. Esta categoria presta seu serviço mediante contratação direta, por fretamento de uma empresa de carga própria ou por terceiros (DNER, 1976).

✓ Empresa de Transporte de Carga (ETC)

De acordo com o artigo 966 do Código Civil brasileiro, é a sociedade civil que exerce atividade econômica organizada para a produção e circulação de bens e serviços e, neste caso, serviço de transporte rodoviário de cargas. Abrangem as empresas organizadas sob qualquer forma societária prevista em lei. Seu objetivo principal é a prestação de serviços de transportes de cargas a terceiros, com utilização de veículos próprios ou fretados, sendo este serviço contratado mediante remuneração (DNER, 1976).

✓ Cooperativas de Transporte de Cargas (CTC)

Os artigos 3º e 4º da Lei nº. 5.764/1971 considera-se cooperativa sociedade de pessoas, com forma e natureza jurídica próprias, de natureza civil, não sujeitas à falência, constituídas para prestar serviços aos associados. Para Gomes (2006), a CTC é uma sociedade civil entre transportadores, quer sejam empresas quer sejam autônomos.

✓ Empresa de Carga Própria (ETP)

Há ainda que ressaltar outra denominação, de acordo com Gomes (2006), a Empresa de Carga Própria (ETP). A ETP, para o RNTRC, é aquela que ao realizar o transporte na Nota Fiscal dos produtos ou no

Conhecimento de Transporte tem como emitente ou como destinatário a empresa, entidade ou indivíduo proprietário ou arrendatário do veículo.

São formadas por empresas industriais, comerciais, agrícolas, agroindustriais e cooperativas organizadas sob qualquer forma societária permitida em lei. São empresas que além de suas atividades principais, utilizam veículos de sua propriedade ou fretados para a atividade complementar do transporte dos produtos por elas produzidos ou comercializados (DNER, 1976).

- Agentes Governamentais

O Governo tem grande interesse no desenvolvimento de um setor de transporte estável e eficiente a fim de sustentar o crescimento econômico em virtude do impacto do transporte na economia. Para Gomes (2006), uma economia estável e eficiente leva as transportadoras e ou operadoras a oferecer serviços competitivos e ao mesmo tempo operar de forma mais lucrativa.

Várias iniciativas econômicas foram tomadas para arrecadar recursos para investimentos na infraestrutura de transporte, sendo um deles a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (Cide) foi instituída pela Lei 10.336, de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001) e o Projeto Modercarga, para renovação da frota.

Com relação a dados e estatísticas sobre o setor, cabe a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), como atribuições específicas relativas ao transporte rodoviário de cargas, promover estudos relativos à frota de caminhões, empresas e operadores autônomos, bem como organizar e manter o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC).

O RNTRC, de acordo com Belém Júnior (2007), permite o conhecimento do conjunto de operadores que atuam no mercado, facilitando a interação com os setores que se relacionam com a atividade de transporte sem interferir com a sua fiscalização. O registro das empresas de Transporte Rodoviário de Carga e dos Transportadores Rodoviários Autônomos permite a identificação de pessoas físicas e jurídicas, quantidade, porte e distribuição, podendo ainda considerar informações estatísticas para o setor.

Com intuito de melhorar os procedimentos de regulação e fiscalização foi elaborada a Lei 11.442 de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), que traz importantes inovações para o exercício da atividade de transporte rodoviário de cargas, sendo certo, entretanto, que alguns de dispositivos dependerão, para sua aplicação, de

regulamentação a ser baixada por decreto do Executivo e/ou por resolução da ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres.

✓ Outros Agentes

▪ Público

O ator fundamental atuante no mercado do transporte rodoviário de carga é o Público. Para Gomes (2006), o público é o agente definidor da demanda pelo transporte, uma vez que mantém a necessidade de bens de consumo e, por conseguinte, a necessidade pelo transporte.

▪ Operadores logísticos

Conforme Belém Junior (2007), os operadores logísticos são empresas especializadas no serviço de armazenagem, movimentação, gerenciamento de estoque, distribuição e gerenciamento de transporte. Ela possibilita avaliar com maior cuidado o nível de satisfação do consumidor, pois o cliente necessita encontrar o produto ou serviço que procura na hora certa e no local certo. Os fabricantes e estabelecimentos comerciais por sua vez não podem ficar com estoque, pois isto representa custo. No caso dos fabricantes, eles necessitam cada vez mais de espaço para a produção que representa sua atividade fim.

O segmento de operadores logísticos no Brasil é recente, pois o mesmo começou exercer sua representatividade apenas em 1994 após a estabilização econômica proporcionada pelo plano real.

Segundo Belém Junior (2007), as oportunidades do setor são relacionadas ao potencial do mercado brasileiro, consequência da privatização da infraestrutura de transportes e da crescente adoção do conceito de logística integrada e *Supply Chain Management* pelas maiores empresas do país. Ainda para o autor, os problemas derivam da qualidade da infraestrutura física, da inadequação legal, da falta generalizada de padrões, do conhecimento do setor e da consequente dificuldade das contratantes para identificar e selecionar os operadores adequados às suas necessidades.

▪ Operadores de transporte multimodal

O transporte multimodal pode ser definido, segundo a Lei 9.611/98 (BRASIL, 1998), como aquele utiliza duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino, e é executado

sob a responsabilidade de um Operador de Transporte Multimodal (OTM). Além dos transportes, inclui os serviços de coleta, unitização, desunitização, movimentação, armazenagem e entrega de carga ao destinatário.

A mesma lei dispõe sobre o Transporte Multimodal de cargas define o âmbito de atuação, se nacional ou internacional, e cria a figura do OTM, como pessoa jurídica contratada como principal para realização do Transporte Multimodal de Cargas. Ele não é um simples intermediário, pois assume a responsabilidade sobre toda a operação, além de agregar e segregar cargas e documentos. O exercício da atividade do OTM depende de prévia habilitação e registro na Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

## 2.3 MATRIZ DO TRANSPORTE DE CARGAS

Um dos principais fatores para o desenvolvimento de um país é ter uma boa infraestrutura de transporte, qualitativamente e quantitativamente. Pereira (2009), o setor de transportes desenvolve uma recíproca relação com o progresso econômico proporcionando a acessibilidade e a mobilidade tanto de mercadorias como de pessoas, o que evidencia sua importância dentro da economia de um país, viabilizando os demais setores.

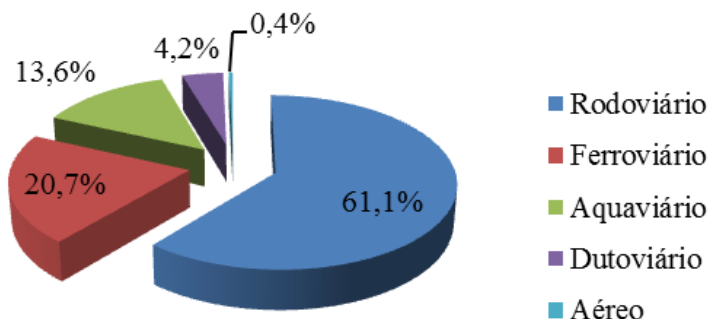
A CNT (2011) ressalta ainda que a infraestrutura de transportes é responsável pela promoção tanto da integração regional como do desenvolvimento econômico, ao possibilitar as conexões necessárias para o transporte de pessoas e mercadorias.

É cada vez mais latente a necessidade de estudos com o intuito de conhecer melhor as relações existentes entre os mais diferentes tipos de transportes, haja vista as diferenças tanto na forma de promoção da integração regional quanto no desenvolvimento desta.

De maneira geral, cinco meios de transporte são utilizados no setor de cargas no Brasil, onde cada um deles se adequa melhor a um determinado tipo de produto e operação, tendo assim características e custos diferentes. Na Figura 2, é mostrada a matriz brasileira de transporte de cargas.

Como podemos observar com a análise da Figura 2, que é por meio de caminhões que atravessam as rodovias do país que muitos carregamentos deixam as áreas de produção e alcançam ferrovias ou portos a partir do qual serão transportados para os mais diversos destinos.

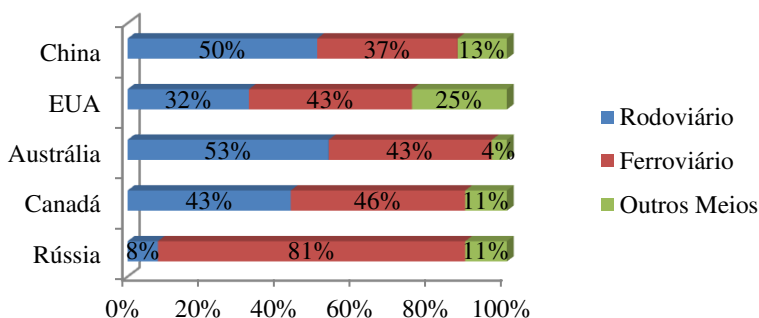
Figura 2 - Matriz do transporte de carga no Brasil



Fonte: CNT (2014)

A distribuição da infraestrutura brasileira é definida fundamentalmente por uma extensa matriz rodoviária e por sistemas limitados de transporte aquaviário, ferroviário e aeroviário, não adequado a um país com as dimensões e características do Brasil. Fazendo uma análise da matriz de outros países, percebemos um maior equilíbrio entre os modos de transporte, além de uma maior conformidade com as potencialidades destes. Na Figura 3, é mostrada a matriz do transporte de cargas de alguns países com dimensões territoriais semelhantes às brasileiras.

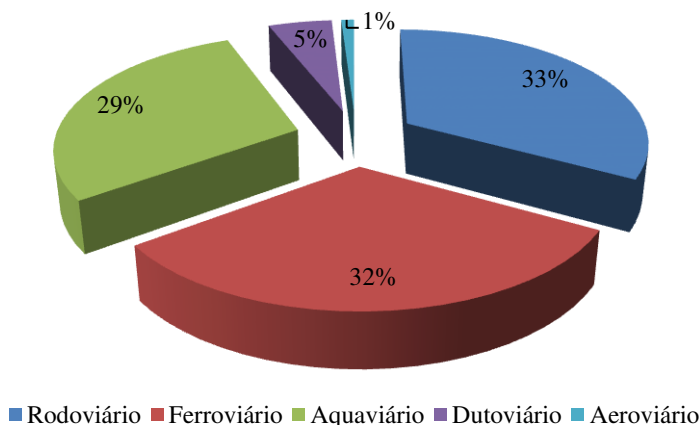
Figura 3 - Matriz de transporte de cargas de alguns países com dimensões territoriais semelhantes às brasileiras



Fonte: Perrupato (2012)

Um dos principais desafios logísticos que o Brasil enfrentará nos próximos anos é o de balancear melhor a matriz de transporte de cargas brasileira. O Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT), em desenvolvimento pelo Ministério dos Transportes a partir de 2006, vem buscando a retomada dos investimentos em infraestrutura, alavancando assim, o crescimento econômico nacional. Na Figura 4, é mostrada a matriz de transporte de cargas esperada para o ano de 2025, de acordo com o PNLT.

Figura 4 - Matriz de transporte de cargas esperada para o ano de 2025



Fonte: Brasil (2006)

Observa-se que a expectativa do PNLT é de uma matriz mais equilibrada, com um aumento considerável da participação dos modos ferroviário e aquaviário, além de estimular a maior utilização da intermodalidade, reduzindo os níveis de ineficiência quanto a custos, segurança e tempos de viagens.

O crescimento do transporte de cargas pelos meios ferroviário e hidroviário, na perspectiva do PNLT, apresenta uma série de vantagens, com destaque para redução do custo do frete e menor emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparado às emissões realizadas pelos caminhões. Porém, a intermodalidade e a flexibilidade características do transporte rodoviário fazem que este mantenha sua importância no cenário nacional.

Estima-se, de maneira conservadora, que os custos logísticos evitáveis, caso a matriz de transportes do Brasil fosse mais equilibrada, seriam da ordem de US\$ 2,5 bilhões por ano. Observa-se que a

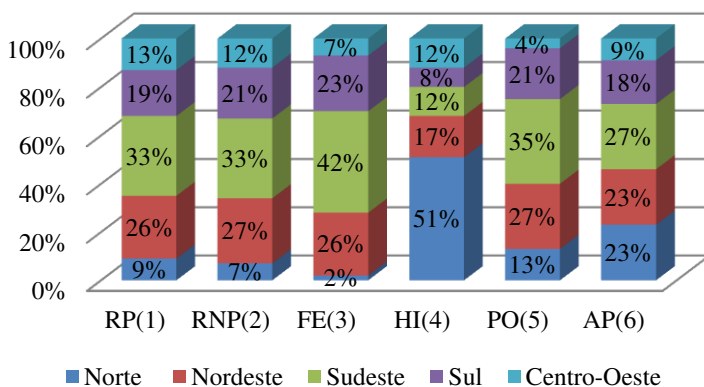
racionalização dos custos de transportes pode produzir efeitos significativamente benéficos sobre o componente mais expressivo dos custos logísticos, haja vista que, sob certas condicionantes e para determinados fluxos de carga, os fretes hidroviários e ferroviários podem ser 62% e 37%, respectivamente, mais baratos do que os fretes rodoviários (BRASIL, 2006).

- Distribuição dos meios de transporte por região

No Brasil existem realidades distintas, assim para uma análise mais factível sobre transportes é necessário entender as potencialidades de cada região, tanto das condições geográficas como relevo, clima, solo e formação histórica quanto da questão econômica.

Nesse contexto, para o CNT (2011), atual panorama brasileiro indica a necessidade de melhorias significativas nesse setor, que permitam uma maior competitividade global. A presente distribuição da infraestrutura é definida basicamente por uma extensa matriz rodoviária e por sistemas limitados de transporte fluvial, ferroviário e aéreo – o que não se mostra adequado para um País com as dimensões e potencialidades do Brasil. A Figura 5 mostra a distribuição de cada tipo de infraestrutura de transportes nas regiões brasileiras.

Figura 5 - Distribuição das infraestruturas de transportes nas regiões do Brasil



(1) Rodovia Pavimentada; (2) Rodovia não pavimentada; (3) Ferrovias; (4) Hidrovias; (5) Portos; (6) Aeroportos Principais.

Fonte: CNT (2011)



Observando a Figura 5, pode-se constatar, por exemplo, que na Região Norte há uma grande concentração de hidroviás, enquanto as Regiões Centro-Oeste e Nordeste apresentam um percentual relevante de rodovias não pavimentadas. Assim, a análise dessa figura evidencia, além da disparidade entre as modalidades de transporte nas distintas Regiões do Brasil, as necessidades de cada Região e modalidade, de forma a eliminar os gargalos logísticos da integração dos Estados brasileiros.

Contudo, um percentual elevado na matriz na Figura 5 não representa necessariamente condições ideais de funcionamento. Por exemplo, a região Norte possui 51% das hidroviás nacionais, porém esse percentual é pouco aproveitado, sendo grande parte da movimentação de cargas na região é feita via transporte rodoviário, evidenciando assim a necessidade de maiores investimentos neste meio na região.

## 2.4 MERCADO DO TRC NO BRASIL

O mercado brasileiro de transporte rodoviário possui a participação de 127 mil Empresas de Transporte de Cargas (ETC), 671 mil Transportadores Autônomos de Carga (TAC) e 623 Cooperativas de Transporte de Cargas (CTC), gerando mais de 3,5 milhões de empregos (ANTT, 2012). A Tabela 2 apresenta dispersão geográfica dos principais atores que operam no mercado de transporte rodoviário de carga no Brasil.

Tabela 2 - Quantidade de transportadores por região

Quantidade de Transportadores	CO <sup>(1)</sup>	NE <sup>(2)</sup>	N <sup>(3)</sup>	SE <sup>(4)</sup>	S <sup>(5)</sup>	Total	
TAC <sup>(a)</sup>	52.439	89.557	18.974	342.582	168.229	671.781	84,0%
ETC <sup>(b)</sup>	7.193	13.448	5.088	60.196	41.670	127.595	15,9%
CTC <sup>(c)</sup>	28	76	32	221	266	623	0,1%
Total	59.660	103.081	24.094	402.999	210.165	799.999	100%

(1) Centro-Oeste; (2) Nordeste; (3) Norte; (4) Sudeste; (5) Sul

(a) Transportadores Autônomos de Carga; (b) Empresas de Transporte de Cargas; (c) Cooperativas de Transporte de Cargas

Fonte: Cibulski *et al.* (2010).

A participação dos autônomos no mercado de transporte de carga é grande, sendo responsáveis por grande parte dos caminhões em circulação no país e pelo transporte de mais de 60% das cargas. Porém, a maior parte desses profissionais trabalha sem contrato e muitos sequer

têm conta bancária (ANTT, 2012). Os transportadores autônomos operam em parceria com transportadoras que, apesar de possuírem frota própria, costumam lançar mão de transportadores autônomos. Algumas optam pela terceirização apenas em épocas de pico, mas outras empresas a praticam de maneira sistemática, com intuito de reduzir suas despesas (DOS REIS, 2001).

A formação do preço do transporte é bastante complexa, pois, além dos custos da atividade, incorpora também fatores locais e conjunturais (MARTINS, 2008). Ortúzar e Willunsen (1994) e Caixeta Filho et al. (2011) listam uma série de variáveis que influenciam o custo do frete:

- Distância percorrida;
- Especificidade da carga transportada e do veículo utilizado;
- Prazo de entrega da carga;
- Custos operacionais;
- Sazonalidade da demanda;
- Perdas e avarias;
- Características e aspectos geográficos das vias utilizadas;
- Pedágios;
- Possibilidade da carga de retorno para as zonas de origem.

Um mercado pouco exigente para a operação e baixa fiscalização levou a redução da qualidade dos serviços prestados e dos preços do frete praticados no mercado de transporte rodoviário de cargas no país (HIJJAR, 2008). Este setor não passa por um mecanismo de controle governamental, permitindo que os preços sejam formados a partir da negociação direta entre a oferta e a procura pelo serviço (SOARES E CAIXETA FILHO, 1997).

De acordo com Araújo, Bandeira e Campos (2014), o excesso de oferta, combinado com a falta de regulação adequada, faz com que o preço do transporte rodoviário no país esteja inferior ao padrão americano. O transporte rodoviário no país possui uma tarifa média que é 46% da americana (ANTT, 2012). A Tabela 3 apresenta a comparação da composição do custo do transporte rodoviário brasileiro em relação ao norte americano.

Tabela 3 - Composição do custo do transporte rodoviário

<b>Itens de Custo</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>Brasil</b>
Motorista	30%	16%
Veículo	20%	19%
Combustível	19%	26%
Pneus	3%	11%
Manutenção	8%	14%
Despesas Gerais	20%	14%

Fonte: Fleury (2003).

A partir da análise da Tabela 3, observa-se o baixo percentual da participação do motorista na composição do custo influenciado pela falta de legislação sobre condições de trabalho, que leva motoristas autônomos a cumprirem jornadas de trabalho extremamente longas (FLEURY, 2003). Percebe-se também uma maior participação do custo dos pneus e da manutenção, fruto da péssima condição das estradas brasileiras, custos por vezes esquecido pelos autônomos na composição do preço dos fretes, influenciando a má condição da frota brasileira de veículos de carga, com média de 16,6 anos de uso para os autônomos, segundo o Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC).

## 2.5 ACIDENTES NO TRC

Segundo Organização Mundial da Saúde (2009), aproximadamente 1,2 milhão de pessoas em todo o mundo morrem vítimas dos acidentes de trânsito todos os anos. Ainda de acordo com esta fonte, estima-se que as perdas anuais devido aos acidentes de trânsito ultrapassem US\$ 500 bilhões (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2008). Somente no Brasil, de acordo com Ministério da Saúde (2008), o número de mortos e feridos graves ultrapassa 150 mil pessoas. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) estima que os custos totais dos acidentes sejam de R\$ 28 bilhões ao ano (IPEA/DENATRAN, 2006).

Essas estatísticas exemplificam como os acidentes de trânsito constituem um grave problema social e econômico de desperdícios materiais e humanos.

O Brasil é um dos recordistas mundiais de acidentes de trânsito, constituindo um alto custo social para o país. Segundo a COPPEAD (2002), no Brasil o número de mortes por quilômetro de rodovia varia de 10 a 70 vezes mais que nos países desenvolvidos (como por exemplo,

na Itália e Canadá, respectivamente). Segundo Corrêa (2009), nos Estados Unidos, 25 caminhoneiros morrem em acidentes rodoviários por ano para cada grupo de 10.000, no Brasil essa taxa é de 281.

Os transportadores autônomos de cargas (TAC), ainda segundo Corrêa (2009), estão mais sujeitos a acidentes, devido à natureza estressante da atividade, baixa remuneração, pouco ou nenhum treinamento, sendo ainda submetidos a grande pressão para entrega de mercadorias dentro de prazos estipulados, gerando carga de trabalho acima da recomendada.

Os tipos mais comuns de acidentes com veículos de carga são os seguintes: tombamento e capotamento 10,1%; abalroamento 24,5%; colisão frontal e traseira 26,2%; saída de pista 10,2%; outros tipos 31,0% (ABCR, 2007). As colisões frontais com qualquer tipo de veículo são sempre as de maior severidade e nas quais se observa o maior número de feridos e óbitos.

Os prejuízos econômicos decorrentes dos acidentes também são elevados. Lima (2007) define que o custo dos acidentes com caminhões em todas as estradas brasileiras é de R\$ 7,7 bilhões/ano, sendo que o custo total de todos acidentes nas rodovias do país, incluindo os atropelamentos, é de R\$ 22 bilhões por ano, equivalente a 1,2% do PIB.

Lima (2007) ainda pontua uma série de estatísticas que mostram o impacto dos acidentes no setor de transporte rodoviário de cargas:

- Do total de acidentes nas estradas brasileiras, cerca de 35% envolvem pelo menos um caminhão;
- Dos acidentes com caminhões, 5% resultam em mortes;
- Dos caminhoneiros envolvidos em acidentes, 15% estavam dirigindo há mais de quatro horas;
- Os Estados brasileiros com maior número de acidentes com veículos de carga são: Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia.

Mattos e Albano (2007) indicam que o excesso de carga e a fadiga dos motoristas estão assumindo um papel preponderante como maiores causas de acidentes. Albano (2005) comenta que o excesso de carga provoca reduções de até 50% na durabilidade dos pavimentos e reduz a capacidade de segurança dos componentes mecânicos e estruturais do veículo, notadamente no sistema de frenagem.

De acordo com Mattos e Albano (2007), para combater o cansaço decorrente de longas jornadas de trabalho, os motoristas ingerem

comprimidos estimulantes constituídos por altos teores de cafeína, anfetaminas e cocaína, vulgarmente intitulados “rebites”, que colocam em risco todos os usuários das rodovias.

As causas dos acidentes são múltiplas, porem de modo geral, derivam da imprudência ou imperícia do condutor, além da falta de atendimento às regras estabelecidas no Código de Trânsito Brasileiro, havendo quase sempre uma infração de tráfego antes da ocorrência de um acidente. Para Mattos e Albano (2007), as principais causas dos acidentes que envolvem caminhões são as seguintes:

- Excesso de peso;
- Excesso de velocidade;
- Ingestão de bebidas alcoólicas;
- Viagem noturna;
- Viagem na chuva;
- Veículo incompatível com a geometria da via;
- Má conservação das estradas;
- Idade média da frota muito alta;
- Motoristas sem experiência;
- Fadiga dos motoristas.



### 3 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A Análise Envoltória de Dados, ou *Data Envelopment Analysis* (DEA), foi inicialmente desenvolvida com a tese de doutoramento de Edward Rhodes, apresentada à *Carnegie Mellon University* em 1978, sob orientação de W. W. COOPER. Com o objetivo de avaliar os resultados de um programa de acompanhamento de estudantes carentes, instituído em escolas públicas americanas, a ideia central era comparar o desempenho de um conjunto de alunos de escolas que participavam, com o de alunos de escolas que não aderiram ao programa.

De acordo com Kassai (2002), a tentativa de estimação da eficiência técnica de escolas, com base em múltiplos insumos e produtos, resultou na formulação do Modelo CCR (abreviatura de Charnes, Cooper e Rhodes, sobrenomes de seus autores) de Análise Envoltória de Dados e com a publicação do primeiro artigo no *European Journal of Operations Research*, em 1978.

O modelo utiliza o método de otimização de programação matemática para, partindo da medida de eficiência técnica em casos de único produto/insumo proposta por Farrel em 1957, desenvolver um modelo que atenda a casos com múltiplos produtos/insumos, com a construção de um único produto “virtual” e um único insumo “virtual” (CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997).

Em 1984, com a publicação do artigo “*Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*”, Banker, Charnes e Cooper deram origem a outro Modelo, chamado de BCC (mais uma vez, uma sigla formada pelas iniciais dos sobrenomes).

Desde então diversos estudos utilizando a Análise Envoltória de Dados foram desenvolvidos. Segundo o levantamento de Tavares (2002), desde a publicação do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978, até o ano de 2001, mais de 3021 estudos foram publicados em meios científicos.

A Análise Envoltória de Dados é um método matemático para a medida de eficiência de unidades produtivas, ou seja, unidades que exercem atividades de produção ou venda de bens e/ou serviços destinados a terceiros (SOUZA, 2012).

Para Oliveira e Gomes (2001), a Análise Envoltória de Dados é uma técnica baseada em programação linear matemática, alternativa aos métodos estatísticos tradicionais, que possibilita estimar a eficiência relativa mediante a construção de uma fronteira de eficiência.

Jubran (2006) conceitua a Análise Envoltória de Dados como uma abordagem de programação linear desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes, que generaliza as medidas de Farrel (1957) e busca medir a eficiência produtiva de unidades de produção com múltiplos produtos e múltiplos insumos.

A razão pela qual a Análise Envoltória de Dados tem sido utilizada em uma ampla variedade de atividades é a sua capacidade de lidar com múltiplas entradas e saídas sem ter que especificar uma relação de produção e sistema de ponderação (HAYNES e DINC, 2005).

De acordo com Souza (2012), alguns exemplos das áreas em que tem sido utilizado são: saúde, educação, finanças, fabricação, aferição e avaliação de gestão, além de aplicações em avaliações governamentais de vários níveis.

Alguns conceitos e características relacionados à Análise Envoltória de Dados são importantes destacar. A seguir, serão listados alguns deles:

- Produção

Vasconcellos e Oliveira (2010) definem produção, ou processo produtivo, como um processo no quais insumos, tais como, serviços de mão-de-obra, matéria-prima e serviços de bens de capital são transformados em um produto final. É possível sempre pensar esses insumos como serviços prestados por fatores de produção.

- Unidades de Tomada de Decisão (DMU)

São as unidades produtoras envolvidas no processo decisório, geralmente o sujeito a ser analisado pelo método. Usualmente, utiliza-se a sigla DMU, do inglês *Decision Making Unit*. Além disso, Unidade de Tomada de Decisão ou DMU é o designador de uma unidade que está sendo analisada em um modelo de análise de envoltória de dados (DEA), podendo ser grupos empresariais, empresas individuais, departamentos, divisões ou unidades administrativas. Porém, devem atender, aos seguintes pré-requisitos:

- ✓ As unidades em análise devem ser comparáveis;
- ✓ Devem atuar sob as mesmas condições;
- ✓ Os fatores (insumos e produtos) devem ser os mesmos para cada unidade, diferindo apenas na intensidade ou magnitude.



- Avaliação Comparativa (*Benchmarking*)

É a avaliação comparativa entre empresas, comumente referida pelo termo em inglês *Benchmarking*, definida por Badin (1997) como um processo contínuo e sistemático de avaliação de empresas e serviços através de sua comparação com unidades consideradas eficientes, levando ao estabelecimento de ações gerenciais efetivas com o objetivo de aprimorar os resultados (redução de custos, aumento de produção, etc.).

- Eficácia

A eficácia é a capacidade de uma unidade produtiva atingir a produção que tinha como meta. Leva em consideração o que é produzido, sem levar em conta os recursos usados para a produção (MELLO *et al.*, 2005).

- Produtividade

A produtividade é basicamente definida como a relação entre a produção e os fatores de produção utilizados, ou seja, o que foi utilizado para produzir. Quanto maior for a relação entre a quantidade produzida e os fatores utilizados, maior é a produtividade.

- Eficiência

Simplificadamente, Mello *et al.* (2005) define eficiência como a comparação do que foi produzido dado os recursos disponíveis, com o que poderia ter sido produzido com os mesmos recursos. Para Haynes e Dinc (2005) trata-se da medida da capacidade de uma unidade para produzir saídas a partir de um dado conjunto de insumos.

A eficiência de uma unidade de tomada de decisão é sempre relativa às demais unidades no conjunto analisado, de modo que o escore de eficiência é sempre uma medida relativa. Logo, enquanto a produtividade refere-se genericamente à relação produto - insumo, a eficiência de um sistema de produção pode ser definida como a relação produto - insumo observada e a relação produto - insumo ótima (TORESAN, 1998).

- Fronteira de Eficiência

Denominação dada à fronteira representada pelo melhor desempenho das unidades de tomada de decisão (DMU's). A fronteira de eficiência é composta pelas unidades produtoras que são mais eficientes na transformação de suas entradas em saídas. As unidades que determinam a fronteira são classificadas como sendo 100% eficientes e, conseqüentemente, qualquer unidade fora da fronteira tem um índice de eficiência inferior a 100%. A eficiência de uma unidade produtiva ineficiente, ou melhor, não 100% eficiente está, portanto, relacionada a sua distância radial com relação à fronteira (HAYNES e DINC, 2005).

- *Input e Output*

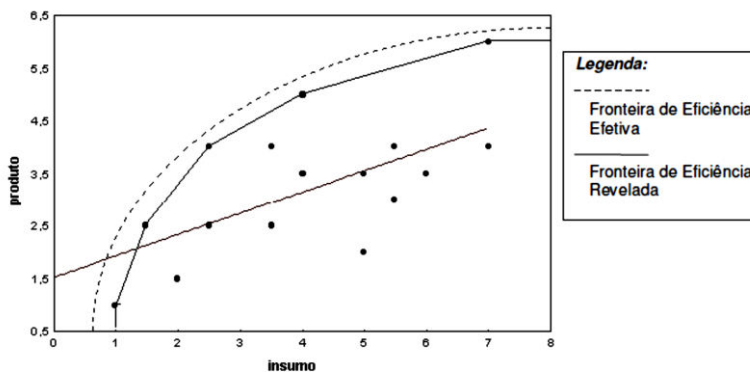
Os *inputs*, ou entradas, que se referem aos insumos empregados pelas unidades tomadoras de decisão (DMU) no processo produtivo. Os *outputs*, ou saídas, que se referem à produção obtida com os *inputs*.

De acordo com Yunos e Hawdon (1997), a Análise Envoltória de Dados é aplicável a organizações que sejam caracterizadas por múltiplos insumos e múltiplos produtos. Para cada organização, a análise utiliza técnicas de programação linear para calcular um índice de eficiência que compara o desempenho atual com a combinação convexa mais eficiente das outras observações recursos/produtos. O índice assume o valor de 1 para as unidades cuja produtividade é “melhor” e menos de 1 se combinações alternativas de insumos/produtos são indicadas como eficientes.

Paiva (2000) ressalta que a análise por envoltória de dados é utilizada principalmente para analisar e investigar padrões predominantes de relações insumo-produto, no entanto, tal metodologia tem se mostrado adequada em vários contextos em que a eficiência da relação entre insumo/recursos e produtos/resultados são difíceis de avaliar ou são inexistentes.

A Análise por Envoltória de Dados, segundo Kassai (2002), define a fronteira de eficiência (ou de máxima produtividade), considerando a relação ótima insumo/produto. Assim, são identificadas as unidades que obtiveram a alocação ótima entre insumos e produtos, que são, então, chamadas de eficientes e estão posicionadas na curva de máxima eficiência relativa. A Figura 6 exemplifica uma fronteira de eficiência.

Figura 6 - Análise DEA para um conjunto de empresas



Fonte: Kassai (2002)

Ainda segundo Kassai (2002), é importante notar que as demais unidades, não eficientes, estão posicionadas abaixo da curva, “envolvidas” pelo desempenho das unidades eficientes. O método define então unidades de referências para cada observação, o que permite calcular os aumentos de produtos ou diminuição de insumos necessários para que a atuação seja otimizada.

Segundo vários autores (NIEDERAUER, 2002; BADIN, 1997; PIMENTEL, 2009; COOPER, SEIFORD e TONE, 2000), para obtenção de resultados consistentes, é importante observar se o conjunto de organizações a ser analisado apresenta os seguintes requisitos:

- Organizações comparáveis, ou seja, que realizem mesmas atividades e tenham objetivos semelhantes;
- Organizações que operem com múltiplos insumos e produtos;
- Organizações que utilizam mesmos insumos e produtos, com diferença apenas quanto à intensidade e à magnitude;
- Organizações que atuem sob as mesmas “condições de mercado”;
- O número de organizações a ser analisado deve ser pelo menos três vezes maior que o número de insumos e produtos considerados;
- Variáveis com dados numéricos positivos (embora seja possível a análise com números negativos).

Segundo Belloni (2000), como resultados de uma análise DEA é possível encontrar:

- Um índice de eficiência que compara as organizações dentro do conjunto de organizações analisadas;
- A construção de uma fronteira envoltória de eficiência e, conseqüentemente, o destaque de organizações como unidades-referência;
- Uma medida de ineficiência para cada entidade fora da fronteira de eficiência;
- Pesos ou taxa de substituição que determinam as relações de insumo/produto como eficiente em cada região da fronteira.

### 3.1 MODELOS DEA

A Análise por Envoltória de Dados pode ser considerada, portanto, como um conjunto de conceitos e metodologias que está incorporada a uma coleção de modelos, com possibilidades interpretativas diversas (CHARNES, COOPER, LEWIN e SEIFORD, 1997).

Os modelos de DEA apresentam diferenças quanto às medidas de eficiência e, por isso, constroem fronteiras de eficiências diferentes. Existem na literatura diversos modelos de aplicação na Análise Envoltória de Dados. A Tabela 4 apresenta alguns desses modelos, bem como suas características.

Tabela 4 - Quadro comparativo dos modelos da técnica DEA

Modelo	Retorno à Escala	Forma da Fronteira	Tipo de Eficiência	Formulação Original	Orientação	Unidade de Medição
Aditivo Variante	Variável	Linear por partes	Não Calcula	Programação Linear	Mista	Influencia o resultado
Aditivo Invariante	Constante	Reta de 45°				
Multiplicativo Variante	Variável	Cobb-Douglas por partes				
Multiplicativo Invariante	Constante	Log-Linear	Técnica	Programação inteira mista	Ao input ou ao output	Não influencia o Resultado
FDH	Variável	Degraus				
BCC	Variável	Linear por partes				
CCR	Constante	Reta de 45°	Total	Programação Fracionária		

Fonte: Adaptado de Mariano (2008)

Mariano (2008) argumenta que os modelos CCR, Aditivo Invariante e Multiplicativo Invariante apresentam retornos constantes à escala, ou seja, eles adotam a hipótese de que os *inputs* e os *outputs* são proporcionais entre si. Já os modelos BCC, FDH, Aditivo Variante e Multiplicativo Variante apresentam retorno variáveis à escala, ou seja, eles adotam como hipótese que os *inputs* e os *outputs* não são proporcionais entre si.

Silva, Martins Filho e Ribeiro (2007) avaliam que os estimadores não paramétricos de fronteira de eficiência mais utilizados são os BCC e CCR. Assim, a seguir serão apresentados os modelos DEA mais relevantes: CCR e BCC.

### 3.1.1 Modelo CCR

Modelo CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, permite uma avaliação objetiva da eficiência global e identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas (KASSAI, 2002).

Pimentel (2009) ressalta que o modelo CCR identifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas através da avaliação da eficiência global. Paiva (2000) descreve outras características do modelo CCR:

- Pressupõe retornos constantes de escala;
- Tem orientação para o *output* quanto à forma de projetar as ineficiências na fronteira;
- Busca minimizar os consumos de insumos de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado;
- Tem como objetivo a maximização do nível de produção utilizando no máximo o consumo de insumos observados;
- Suas projeções observadas sobre a fronteira de eficiência buscam o máximo aumento equiproporcional de produção dado o *output* observado;
- Utiliza como indicador de eficiência uma medida de produtividade global denominada de indicador de eficiência produtiva (EP).

Ceretta e Niederauer (2000) descrevem simplifcadamente a formulação matemática do modelo CCR da seguinte forma:

“Considere-se  $N$  empresas produzindo  $m$  quantidades de produtos  $y$  a partir de  $n$  quantidade de insumo  $x$ . Uma empresa  $K$  qualquer produz  $Y_{rk}$  quantidades de produtos com a utilização de  $X_{ik}$  quantidades de insumos. O objetivo da DEA é encontrar o máximo indicador de eficiência  $h_k$  onde  $u_r$  é o peso específico a ser encontrado para um produto  $r$  e  $v_i$  o peso específico de cada insumo  $i$ .”

O modelo possui dois tipos distintos de formulações, que dependem da orientação metodológica da pesquisa, a insumo ou produto.

Kassai (2002) detalha em seu estudo a formulação matemática do modelo. Segundo a autora, o modelo busca minimizar o consumo de insumos de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado, expresso pela maximização da somatória das quantidades produzidas ( $y$ ) multiplicadas pelos pesos ( $u$ ). A seguir, a formulação matemática do modelo CCR com orientação a insumo, apresentada nas equações 1, 2, 3 e 4.

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4)$$

Onde:

$y$  = produtos;

$x$  = insumos;

$u, v$  = pesos.

$r = 1, \dots, m$ ;  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, N$

Com relação ao Modelo CCR com orientação a produto, ainda segundo Kassai (2002), o objetivo é a maximização do nível de produção utilizando no máximo o consumo de insumos observados. A seguir, a formulação matemática do modelo CCR com orientação a produto, apresentada nas equações 5, 6, 7 e 8.

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} = 1 \quad (7)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (8)$$

Onde:

y = produtos;

x = insumos;

u,v = pesos.

r = 1, ..., m; i = 1,...,n ; j = 1,..., N

### 3.1.2 Modelo BCC

O modelo BCC, nomeado com a primeira letra do sobrenome de seus autores (Banker, Charnes e Cooper), foi apresentado em um artigo publicado na revista *Management Science* em 1984. De acordo com Kassai (2002), o modelo BCC pressupõe que as unidades avaliadas apresentem retornos variáveis de escala.

Segundo Pimentel (2009), o modelo BCC permite a identificação de ganhos de escalas crescentes, decrescentes e constantes para futura exploração, uma vez que ele faz a distinção entre ineficiências técnicas e

de escala, estimando, também, a eficiência técnica pura dada uma escala de operações.

Belloni (2000) afirma que ao possibilitar que a tecnologia exiba propriedades de retornos à escala diferentes ao longo de sua fronteira, esse modelo admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção.

Segundo Moita (2002), Eficiência de Escala se refere às variações de produtividade decorrentes de mudanças na escala de produção. A Eficiência Técnica está ligada à habilidade gerencial dos administradores porque se refere à capacidade de bem utilizar os insumos disponíveis para obter máximo produto. Outras características do modelo BCC podem ser destacadas:

- Pressupõe retornos variáveis de escala;
- Tem orientação para insumos quanto à forma de projetar as ineficiências na fronteira;
- Admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção, o que torna possível a análise de organizações com diferentes portes;
- Busca a maior redução equiproporcional do consumo de insumos para a produção observada;
- Utiliza como indicador de eficiência uma medida de produtividade global, a medida de eficiência técnica (ET). Este indicador está depurado dos efeitos de escala de produção.

Assim como o modelo CCR, o modelo BCC possui dois tipos distintos de formulações, que dependem da orientação metodológica da pesquisa, a insumo ou produto.

Kassai (2002) detalha em seu estudo a formulação matemática do modelo. O autor destaca que é introduzida uma variável  $u_k$ , representando os retornos variáveis de escala. Essa variável não deve atender à restrição de positividade, podendo, portanto, assumir valores negativos. A seguir, a formulação matemática do modelo BCC com orientação a insumo, apresentada nas equações 9, 10, 11 e 12.

$$\text{Maximizar } \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - u_k \quad (9)$$



Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0 \quad (11)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (12)$$

Onde:

y = produtos;

x = insumos;

u,v = pesos.

r = 1, ..., m; i = 1,...,n ; j = 1,..., N

A seguir, a formulação matemática do modelo CCR com orientação a produto, apresentada nas equações 13, 14, 15 e 16.

$$\text{Minimizar} \sum_{i=1}^n v_i x_{ki} + v_k \quad (13)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ji} - v_k \leq 0 \quad (15)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (16)$$

Onde:

$y$  = produtos;

$x$  = insumos;

$u, v$  = pesos.

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

## 3.2 FRONTEIRA INVERTIDA

Os modelos de análise DEA possuem diversas vantagens, porém uma das principais desvantagens é que eles podem determinar que uma DMU é eficiente considerando apenas algumas das variáveis, não necessariamente todas agrupadas. Assim, desenvolveu-se a Fronteira Invertida.

De acordo com Mello *et al.* (2005), a fronteira invertida é uma avaliação pessimista das DMUs. Novaes (2002) complementa que ela é uma forma de medir a ineficiência de uma DMU.

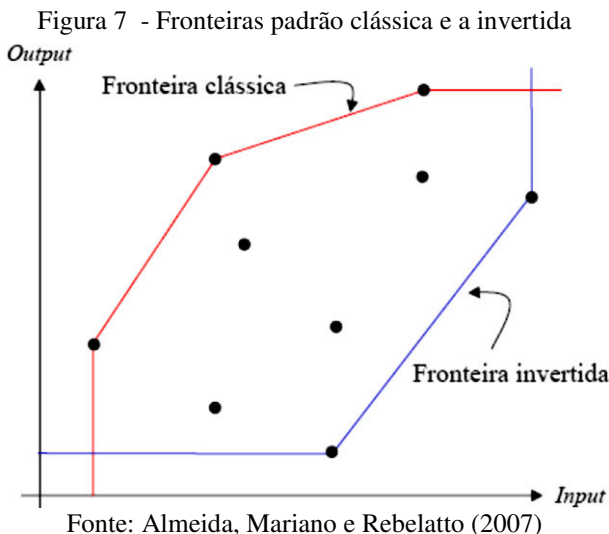
Para Almeida, Mariano e Rebelatto (2007), na perspectiva da fronteira invertida, a DMU mais eficiente é aquela que conseguir ter um desempenho mais equilibrado, ou seja, é aquela que conseguir produzir muito de todos os *outputs* e gastar pouco de todos os *inputs*, sem se destacar em nenhum especificamente.

Giacomello e Oliveira (2014), baseado em Leta *et al.* (2005), afirmam que:

“A fronteira invertida permite a identificação de unidades produtivas consideradas “falsas eficientes”, pois já que a equação da eficiência invertida propõe a divisão da soma ponderada dos insumos pela soma ponderada dos produtos (o inverso da fronteira clássica), passa a indicar como mais eficientes (inversamente) aquelas unidades que gastaram mais insumos e geraram menos produtos, enquanto a fronteira clássica classifica como melhor o que gerou mais produtos gastando menos insumo. Esta fronteira invertida é composta pelas DMUs com as piores práticas gerenciais (e pode ser chamada de fronteira ineficiente)”.

Mello *et al.* (2005), afirma que pode-se também afirmar que as DMUs pertencentes à fronteira invertida têm as melhores práticas sob uma ótica oposta, sendo que, desta maneira, quando trabalha-se com

eficiência invertida, quanto mais baixo o valor, melhor se comporta a DMU. A Figura 7 a seguir apresenta graficamente como são representadas as fronteiras padrão clássica e a invertida.



Além da fronteira (eficiência) invertida, outro conceito importante quando da análise dos resultados de um modelo é o conceito de eficiência composta.

Segundo Macedo *et al.* (2005), Eficiência Composta é um índice que combina as eficiências da fronteira clássica e da fronteira invertida capaz de fornecer uma visão de eficiência onde a DMU eficiente tem um bom desempenho naquilo em que ela é melhor, mas não pode ter um mau desempenho no critério em que ela for pior. Ela é obtida pela equação 17:

$$\text{Eficiência Composta} = \frac{\text{Efic. Clássica Padrão} + (1 - \text{Efic. Invertida})}{2} \quad (17)$$

De acordo com Giacomello e Oliveira (2013), a partir dela é possível obter-se a Eficiência Composta Normalizada (apresentada como Composta\*), dividindo o valor da eficiência composta pelo maior valor entre todos os valores de eficiência composta, podendo ser obtida de acordo com a equação 18:

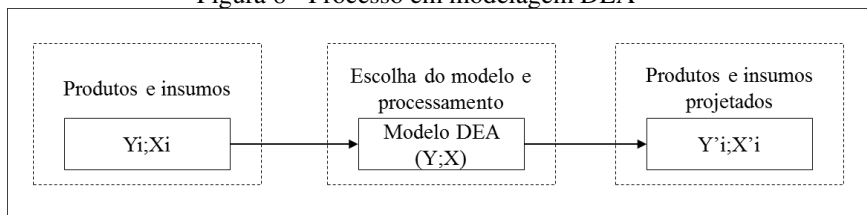
$$\text{Eficiência Composta}^* = \frac{\text{Eficiência Composta}}{\text{Máxima (Eficiência Composta)}} \quad (18)$$

Elas oferecem um resultado como um maior grau de precisão em relação à Fronteira de Eficiência Clássica Padrão, já que, considera que uma DMU é eficiente a partir de uma análise de todas as variáveis, não somente das eficientes. A Eficiência Composta Normalizada vai ainda mais além, oferecendo subsídios para uma classificação com maior grau de discriminação entre as DMUs.

### 3.3 PROCEDIMENTO PARA APLICAÇÃO DO DEA

Em suas pesquisas, Araújo (2008) observou que na literatura os estudos que utilizam a Análise Envoltória de Dados (DEA) seguem sempre um processo comum a todos. Esse processo pode ser representado em três partes: determinação dos dados de entrada (insumos e produtos), processamento dos dados disponíveis e observação dos dados de saída (valores de insumos e produtos projetados na fronteira de eficiência), conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Processo em modelagem DEA



Fonte: Adaptado de Araújo (2008)

Na Figura 8, de acordo com Araújo (2008), a primeira parte do processo é representada pelos vetores  $Y_i$  e  $X_i$  que são vetores de produtos e insumos, respectivamente, selecionados para o estudo. Esses vetores possuem valores para o número de unidades existentes no modelo, ou seja, para cada  $DMU_i$ , onde  $i = 1, 2, \dots, n$ . A segunda parte, onde ocorre o processo do modelo,  $Y$  representa uma matriz de produtos ( $s \times n$ ) e  $X$  representa uma matriz de insumos ( $m \times n$ ). Os vetores,  $Y'_i$ ,  $X'_i$ , na terceira parte, são os resultados do processamento do modelo escolhido, ou seja, os valores projetados na fronteira de eficiência.

Seguindo o mesmo raciocínio, Golany e Roll (1989) recomendam, no processo de condução de um estudo de eficiência usando DEA, a subdivisão da aplicação em três fases:

- Definição e seleção das DMUs a serem analisadas;
- Determinação dos fatores de entrada e saída relevantes e adequados na avaliação das DMUs;
- Aplicação dos modelos DEA e elaboração de análise dos resultados.

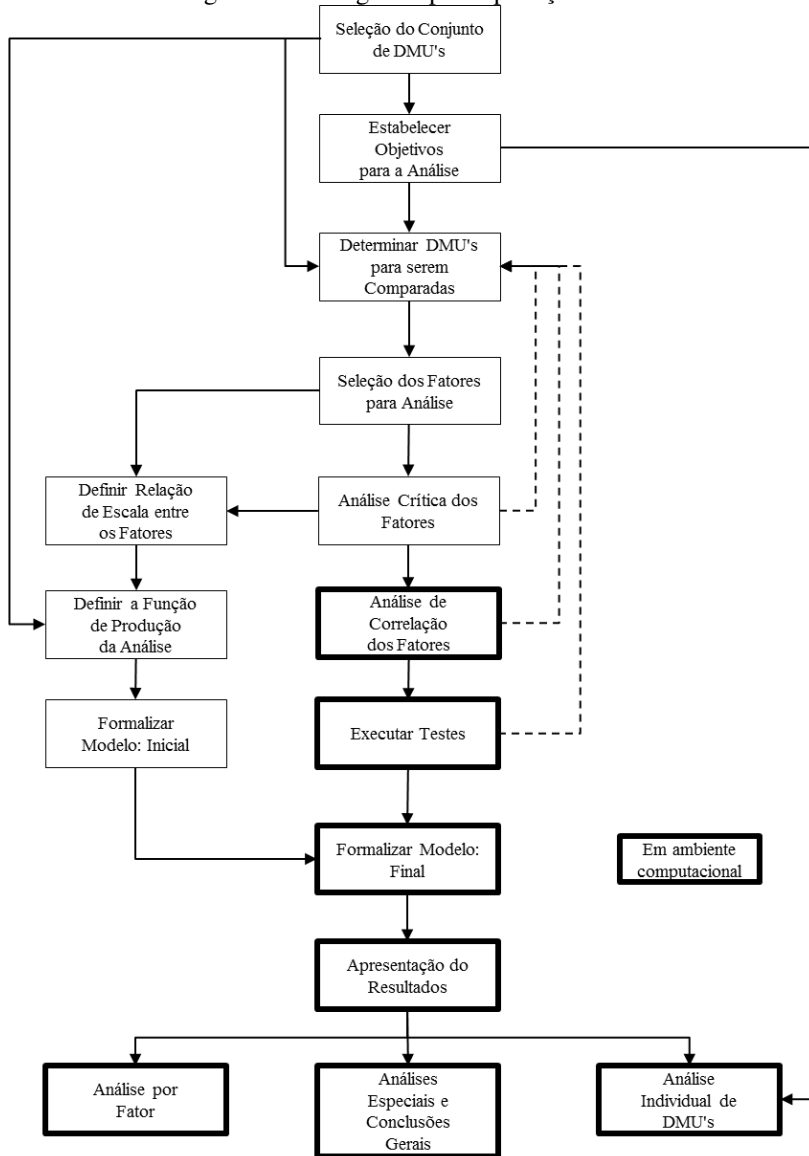
Cada uma destas três fases compreende alguns passos. A Figura 9, apresenta o fluxograma para a aplicação da Análise Envoltória de Dados, de acordo com Golany e Roll (1989).

Ainda sobre os procedimentos para aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA), Ângulo Meza (1998), de modo semelhante, destaca que para toda a modelagem DEA, seguem-se três passos:

- Definição e seleção de DMUs: essas unidades devem possuir mesmos produtos e insumos, variando apenas a intensidade. Além disso, devem ser homogêneas, ou seja, executar as mesmas tarefas;
- Seleção das Variáveis: devem ser selecionadas dentro de uma lista que contenha um conjunto de variáveis que são ligadas ao modelo, permitindo o conhecimento sobre as unidades a serem avaliadas;
- Escolha do modelo: deve-se escolher aquele modelo que melhor se adéque ao que se deseja estudar.

Percebe-se que, em estudos que utilizam modelagem DEA, existem procedimentos que são básicos, cabendo, em cada estudo, variações e utilização de métodos que complementem as análises. A seguir é apresentada a descrição do método utilizado para obter o modelo para avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de carga utilizando a Análise Envoltória de Dados.

Figura 9 - Fluxograma para aplicação DEA



Fonte: Adaptado de Golany e Roll (1989)

### 3.4 CARACTERÍSTICAS E LIMITAÇÕES DA DEA

A Análise Envoltória de Dados possui uma série de características e limitações que as diferenciam de outros métodos. Alguns autores apresentam as características da aplicação da DEA como Yun *et al.* (2004), Charnes *et al.* (1996), Souza (2012), Azambuja (2002), Belloni (2000), Kassai (2002), Niederauer (2002) e Pimentel (2009). Algumas são listadas a seguir:

- Faz a análise individual de cada organização;
- Toma por base simultaneamente os níveis de múltiplos insumos e produtos de cada organização;
- Permite a identificação de excesso de consumo de insumos (desperdício) e também quais os produtos que deveriam ser produzidos em maior quantidade para aumentar a eficiência relativa;
- Diferencia as organizações eficientes e ineficientes;
- Pode captar ineficiências específicas que outras técnicas não conseguem;
- Gera um único score de desempenho relativo às demais organizações analisadas;
- Não requer suposição básica sobre insumos e produtos;
- Permite a inclusão de atributos ambientais ou do processo que não sejam nem recursos econômicos nem produtos;
- Baseia os índices de eficiência em dados reais;
- Permite uma estimativa robusta da fronteira de eficiência;
- Na sua forma clássica, o método DEA permite total flexibilidade na seleção dos pesos, o que é importante para identificar as DMU's ineficientes, que tem baixa performance, fazendo com que cada DMU atinja o escore máximo de eficiência viável para seus níveis de entradas e saídas.
- Mesmo desconhecendo informações sobre a função produção, o método DEA ainda pode ser usado para medir a eficiência relativa;
- DEA possibilita a inserção das preferências dos tomadores de decisão; e
- A análise por envoltória de dados possui a habilidade de detectar deficiências específicas, que não podem ser detectadas por outras técnicas.

De acordo com Souza (2012), a aplicação do método DEA apresenta uma gama de questões relacionadas com a homogeneidade das unidades sob avaliação, o conjunto de fatores de entradas/saídas utilizado, assim como a medição desses fatores e os pesos atribuídos a eles na análise. Cada uma dessas questões pode apresentar dificuldades de ordem prática na aplicação DEA.

Alguns autores apresentam limitações da aplicação da DEA como Azambuja (2002), Belloni (2000), Kassai (2002), Anderson (1997), Niederauer (1998), Badin (1997), Souza (2012), sendo algumas são listadas a seguir:

- Como requer apenas uma observação sobre cada caso para descrevê-lo, ruídos, erros de medições e a presença de *outliers* (valores extremos) podem comprometer a análise e influenciar a forma e a posição da fronteira;
- É difícil formular hipóteses, por ser uma técnica não paramétrica;
- Os resultados da técnica sofrem grande influência das unidades analisadas. A inclusão ou exclusão de qualquer unidade requer nova análise, uma vez que pode alterar os resultados obtidos do conjunto original;
- A exclusão de um produto ou insumo relevante pode gerar resultados viciados;
- Não permite a comparação dos resultados de eficiência média entre dois estudos ou amostras já que refletem apenas a dispersão de eficiências dentro de cada amostra;
- É muito sensível à especificação das variáveis por ser uma técnica baseada em pontos extremos;
- Com o aumento do número de variáveis a habilidade de discriminação decresce, pois aumentam as chances de mais unidades alcançarem o desempenho máximo. Isso é explicado pelo fato de aumentar as relações dimensionais existentes entre produtos e insumos para a formação da fronteira de eficiência. Desta forma se houver uma relação menor do que três organizações para cada par de insumo/produto, muitas unidades avaliadas podem aparecer sobre a fronteira DEA;
- Podem-se obter indicações enganosas sobre a habilidade gerencial relativa se não for feita nenhuma referência sobre as diferenças entre ambientes;
- Pode levar um tempo computacional elevado, já que cria um problema linear para cada organização avaliada.



### 3.5 ESTUDOS RELEVANTES SOBRE A DEA

Existem diversas possibilidades de aplicação da Análise Envoltória de Dados na avaliação de unidades encontradas na literatura. Este estudo foi subsidiado por pesquisas internacionais e nacionais aplicados nas mais diversas áreas, relevantes para a realização desta pesquisa, desde ciências humanas até finanças, tendo predominância nos setores de saúde, esporte e educação e, principalmente, em instituições bancárias, engenharia e tecnologia.

Um desses estudos é apresentado por Pereira (1995), “Mensuramento da eficiência multidimensional utilizando Análise de Envelopamento de Dados: revisão da teoria e aplicações”, referente às extensões relacionadas com o relaxamento da condição de convexidade (FDH), análise de progresso tecnológico (Análise de Janelas), abordagem visual interativa utilizando uma função hierarquia de valor (Análise Multicritério) e a diminuição do efeito de erros de dados (DEA Estocástica), bem como os modelos tradicionais e as aplicações, basicamente encontrados no exterior (KANESIRO, 2008).

Em 1997, Badin apresentou a dissertação intitulada “Avaliação da produtividade de supermercados e seu *benchmarking*”. O estudo propôs-se a efetuar a análise da eficiência, em termos de faturamento, dos 600 maiores supermercados do País em 1996, utilizando uma metodologia híbrida, a partir das técnicas de Análise Envoltória de Dados (DEA), *Benchmarking* e Função de Produção. Procedeu-se à aplicação da Análise Envoltória de Dados para cada categoria, com a determinação dos supermercados eficientes, concluindo que a grande maioria dos supermercados apresenta-se como ineficiente. “Os mais eficientes são aqueles em que predominam departamentos mais especializados e diversificados” (BADIN, 1997).

Outro trabalho relevante foi o de Novaes, que apresentou em março de 1998 à COPPE/UFRJ a dissertação “Função de Fronteira de produção aplicada para avaliação de eficiência entre plataformas de petróleo (*Data Envelopment Analysis* – DEA)”. O estudo considerou o desempenho de 20 das 28 plataformas localizadas na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro, com dados de 1996. Foi utilizado o método *IO Stepwise* para definição das variáveis a compor o modelo, que teve orientação ao insumo e ao produto (NOVAES, 1998).

A metodologia DEA foi aplicada ao estudo de eficiência dos 12 programas do Instituto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ)

na dissertação de mestrado de Meza, em novembro de 1998. Foram calculadas as médias para cada variável ao longo do tempo de forma que observasse a eficiência média de cada programa no período (MEZA, 1998). A autora propõe, então, a utilização da avaliação cruzada para “diferenciar melhor entre os programas 100% eficientes”. Os modelos DEA são facilmente compreensíveis e fornecem, além do índice de eficiência, dados importantes como as melhoras que podem ser feitas para atingirem 100% da eficiência relativa (MEZA, 1998).

## 4 ESTUDOS RELACIONADOS E PRÁTICAS

Este capítulo apresenta os estudos relacionados e as práticas. Em um primeiro momento serão apresentados os estudos relacionados com os temas da pesquisa. Posteriormente, serão apresentadas as práticas relacionadas à segurança viária.

### 4.1 ESTUDOS RELACIONADOS

Muitos estudos abordam o tema da acidentalidade no Brasil, porém poucos abordam especificamente sobre o transporte rodoviário de cargas. Esses estudos sobre acidentalidade no trânsito possuem diversos tipos de abordagem, nas mais variadas áreas de conhecimento, desde área jurídica até a área da saúde.

Grande parte das pesquisas atuais sobre os acidentes de trânsito tratam do local de ocorrência dos sinistros, realizando uma análise espacial destes. Os estudos de Santos (2006), Santos e Raia Junior (2006), Souza *et al.* (2006), Paixão e Komati (2012) e Teixeira (2012) são alguns exemplos.

Há também vários trabalhos relacionando o trânsito com as condições sociais dado o crescimento do número de mortos em acidentes, hoje considerado a terceira maior causa de mortes no Brasil (HOFFMANN, 2003). Esta posição pode ser ainda mais alta em virtude da prática de se computar apenas os óbitos ocorridos no local do acidente, e não as vítimas que falecem posteriormente. Trabalhos como os de IPEA (2003), Souza *et al.* (2007) e Trindade e Nassi (2008) exemplificam com essa afirmação.

Um dos estudos relevantes sobre acidentes é o realizado por Ribeiro, Júnior e Azevedo (2014), intitulado “Produção científica acerca dos acidentes de trânsito no Brasil”. Os autores analisaram 49 trabalhos científicos nacionais, obtidos a partir dos descritores nos critérios de inclusão, levantando uma série de informações a respeito do tema. Segundo a pesquisa identificou-se que o adulto jovem na faixa etária de 15 até 40 anos, sexo masculino e que conduz motocicleta são os principais fatores de risco para os acidentes de trânsito, a maioria dos acidentes ocorreu nos finais de semana e no início da noite, e as fraturas foram às principais lesões seguidas de feridas, escoriações, lacerações e trauma cranioencefálico (TCE), sendo o uso abusivo de álcool um dos principais vilões desses acidentes.

Em nível internacional, há uma grande gama de estudos que abordam o tema da acidentalidade no trânsito, bem como relacionados ao transporte rodoviário de cargas. Blower e Woodrooffe (2012) realizaram o estudo intitulado “Levantamento da situação da segurança de caminhões: Brasil, China, Austrália e Estados Unidos”, que analisa a situação de segurança de caminhão nos quatro países. O artigo descreve o papel do transporte rodoviário de cargas em cada país, caracterizando o nível atual de segurança além de identificar os problemas de segurança.

Algumas pesquisas internacionais abordam o transporte rodoviário de cargas a partir da Análise Envoltória de Dados (DEA), porém, nas pesquisas para a realização deste trabalho, não foram encontradas fontes que apliquem a técnica no tratamento de dados de segurança. Os estudos encontrados que utilizam a DEA aplicada ao transporte rodoviário de cargas tratam da análise de eficiência operacional de empresas públicas e privadas (ODECK, 1993; MINKEN, 1994; HJALMARSSON e ODECK, 1994; MIN e JOO, 2003; PAI, 2012).

Nas últimas décadas, os modelos de frequência de acidentes têm sido amplamente utilizados na análise de segurança de tráfego. Os modelos mais frequentemente utilizados são os modelos Binomiais Negativos e de Poisson (SHANKAR *et al.*, 1995;. POCH e MANNERING, 1996; ABDEL-ATY e RADWAN, 2000; SAVOLAINEN e TARKO, 2005) e suas variantes de Poisson Zero Inflado e Binomial Negativa Zero Inflado (SHANKAR *et al.*, 1997; CARSON e MANNERING, 2001; LEE e MANNERING, 2002), de parâmetros aleatórios do modelo Binomial Negativa (SHANKAR *et al.*, 1998;. CHIN E QUDDUS, 2003; ANASTASOPOULOS e MANNERING, 2009), Markov de comutação de dois estados diferentes de ocorrência de acidente (MALYSHKINA e MANNERING, 2009) e estatística bayesiana em modelos de Binomial Negativa (PARK *et al.*, 2010).

Diferentes pesquisadores desenvolvem vários tipos de índices de acidentes a fim de quantificar o risco associado com um trecho de estrada. Independentemente das diferenças nos métodos que têm sido analisadas, estas metodologias podem fornecer pistas valiosas para a tomada de decisão informada. Em um estudo recente, Wu e Zhang (2012) propuseram um índice de risco de estrada composto utilizando uma função logística com base na exposição, a taxa de acidentes e gravidade dos acidentes. Eles mostraram índice de risco como uma função de um número previsível de diferentes tipos de colisões,

multiplicado por um nível relativo de custo devido a um determinado tipo de colisão, utilizando o índice de gravidade de acidente do HSM e custos unitários acidente associados.

As relações entre a frequência, gravidade e fatores contribuintes para acidentes podem ser aplicados em uma análise de segurança proativa. De Leur e Sayed (2003) trabalharam no desenvolvimento de uma estrutura sistemática para o planejamento prévio da segurança rodoviária, onde o risco de acidentes nas rodovias era uma função da exposição, da probabilidade de colisão e consequência de uma colisão em potencial. Eles também fazem recomendações de planejamento sobre a forma de uso do solo, da rede viária, elementos de geométricos, de funcionalidade e atrito das rodovias, velocidade nas áreas propensas a acidentes e ambiente das cabeceiras das pistas, em um esforço para melhorar a segurança de um segmento de estrada.

Vários estudos têm investigado os fatores que contribuem para acidentes com veículos pesados. Um estudo realizado por Cantor *et al.* (2009) aplicaram um modelo de regressão de Poisson na CDL (*Commercial Driver's License*, ou Licença para motoristas comerciais) nacional e dados de acidentes para investigar a relação entre as características do condutor e acidentes de veículos pesados. Os resultados mostraram que o mau desempenho de segurança do condutor (expresso em número de acidentes anteriores), violações fora de serviço, índice de massa corporal motorista, gênero do motorista, idade motorista e de emprego passado eram características significativas na previsão das taxas de colisão de veículos pesados. Em particular, o modelo estima que homens e motoristas com menos de 25 anos de idade possuem as taxas mais elevadas de acidentes.

Outro estudo realizado por Park e Jovanis (2010) analisaram os efeitos que as horas de serviço e os horários de trabalho tinham sobre a probabilidade da ocorrência de um acidente. Para seu estudo, eles coletaram os dados de acidentes e o plano de condução detalhado de três empresas nacionais, com operações diferentes, para um total de 231 acidentes. Seu principal método de análise utilizou modelos de regressão logística dependentes do tempo para avaliar a relação entre horas de serviço/programação e o risco de acidente. A partir de seus modelos, verificou-se que as chances de um acidente ocorrer era, de fato, associado com as horas de condução, com especial ênfase nas horas posteriores a sexta hora de direção. Com relação à primeira hora de dirigir, as chances de um acidente ocorrer sofrem um aumento de 56 por cento depois da 6ª hora e mais que 200 por cento após a 10ª e 11ª horas. Estes resultados são de grande relevância e fornecem ampla

orientação, porém, estes foram obtidos com base em uma dimensão limitada de amostra.

Um estudo semelhante realizado pelo Departamento de Transportes dos EUA e o Instituto de Transporte da Universidade Virginia Tech (Barr *et al.*, 2011) analisaram a rotina de motoristas para avaliar o impacto que a sonolência tinha na capacidade de conduzir veículos. Seus objetivos da pesquisa incluem a caracterização da ocorrência de sonolência e suas causas, explorando os efeitos da sonolência no desempenho da condução segura, além de identificar relações entre a sonolência, distração e o desempenho. Os dados foram coletados a partir de filmagens em rodovias, com um total de 908 horas de vídeo, que foram coletadas e processadas. As ocorrências observadas a partir dos vídeos foram então documentadas, descritos e armazenadas em bancos de dados. Análise dos testes de variância (ANOVA), regressão linear *stepwise* e regressão logística foram utilizados para analisar os dados recolhidos. Basicamente, todos os três métodos de análise de dados produziram os resultados consistentes. Os métodos de análise mostraram evidências de uma forte correlação entre sonolência e da hora do dia, no período inicial da manhã, entre 06:00 - 09:00 horas, sendo particularmente problemático. Observou-se a conclusão oposta entre os horários de 12:00 e 15:00. Estes resultados indicam que os motoristas podem não ter total atenção nas suas primeiras horas da jornada de trabalho e precauções especiais durante essas horas podem ser de grande ajuda para os motoristas e os passageiros. Além disso, a sonolência também foi relacionada com a idade e experiência dos motoristas. Motoristas mais jovens, na faixa etária de 19-25 anos de idade, possuem nove vezes mais chances de serem classificados no grupo de "alta fadiga" dos motoristas. Da mesma forma, os condutores inexperientes com menos de um ano de experiência de condução comercial possuem sete vezes mais chances de serem agrupados na categoria de "alta fadiga". Os resultados deste estudo forneceram alguns resultados interessantes com implicações importantes, principalmente relacionadas a motoristas mais jovens e inexperientes.

Um estudo realizado por Blower *et al.* (2010) utilizou os dados e as conclusões do estudo "*Large Truck Crash Causation*" para examinar a relação entre a condição do veículo e o seu envolvimento em acidentes. Mais especificamente, o estudo procurou testar duas hipóteses diferentes. A primeira hipótese testada foi de que os caminhões com defeitos e fora de serviço possuem, estatisticamente, maior probabilidade de causar um acidente e, em seguida, caminhões sem defeitos. A segunda hipótese testada foi de que os defeitos em sistemas

específicos estão associados com as colisões, e que esses sistemas são fundamentais na prevenção de acidentes (um mecanismo físico liga o defeito do veículo com o acidente). Para testar essas hipóteses, modelos de regressão múltipla logística foram desenvolvidos para mostrar se qualquer associação estatística estava presente. A partir dos modelos, verificou-se que a razão fundamental para os acidentes foram principalmente associadas aos motoristas e com uma menor associação a um defeito mecânico.

Na literatura, os estudos realizando uma análise estatística das taxas de acidentes são numerosos, porém, é grande a carência de estudos que utilizem métodos estatísticos aplicados as taxas de acidentes no transporte rodoviário de cargas. Além disso, poucos estudos utilizam a Análise Envoltória de Dados para analisar os dados de acidentes de trânsito.

Em um dos principais estudos para este tema, Bastos *et al.* (2014) publicaram o artigo “*Assessing Road Safety Performance by Data Envelopment Analysis – The Case of Brazil*”. Este estudo propôs-se a contribuir para o diagnóstico da segurança rodoviária no Brasil apresentando uma pesquisa sobre dois principais indicadores disponíveis no país, taxa de mortalidade (representado pelo número de fatalidades por habitantes) e a taxa de letalidade (representado por dois subindicadores: número de mortes por veículo e o número de fatalidades por quilômetros percorridos pelos veículos). Estes indicadores foram agregados em um indicador composto (CI) através de um modelo de múltipla camada de análise envoltória de dados (DEA ML-CI), na qual a combinação ideal de pesos dos indicadores é pesquisado para cada unidade de tomada de decisão (DMU), neste caso, os 27 estados brasileiros (BR-27). O indicador composto representa o nível da segurança rodoviária em que um ranking de estados pode ser feito.

Neste trabalho, busca-se uma análise semelhante à de Bastos *et al.* (2014), no que tange a aplicação da metodologia da Análise Envoltória de Dados, porém, aplicada para o transporte rodoviário de cargas.

## 4.2 PRÁTICAS

Os órgãos e instituições públicas nacionais utilizam-se basicamente de informações sobre os acidentes que são divulgadas por outros organismos públicos (Denatran, Ministério da Saúde e Seguros DPVAT), transformando essas informações em taxas (taxa de

mortalidade, mortes por 10.000 veículos, mortes por 100 habitantes) e as divulgando. Essas fontes de informações, por vezes, estratificam os dados de acordo com as características desses.

Atualmente, de acordo com CNM (2009), as informações de acidentes no Brasil possuem três fontes principais de dados, que registram os óbitos ocorridos no país em virtude dos acidentes de trânsito, completamente distintas umas das outras quanto à metodologia de coleta de dados, apresentando, assim, grande divergência de informações.

- DENATRAN

O DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito elabora seus anuários estatísticos a partir dos boletins de ocorrência lavrados pela polícia. Computa, portanto, apenas as mortes “*in loco*”. Trata-se da fonte com o maior nível de desagregação de dados para análises. Indica, por estado e por capitais, além do número de mortes, o sexo das vítimas, faixa etária e tipo (condutor, pedestre, passageiro, ciclista, motociclista, e outros).

Apesar de serem os dados mais detalhados, são os mais subestimados, ficam bem longe da realidade. Muitos acidentes com vítimas não são registrados pela polícia, nem sempre acionada. Além disso, muitas vezes, a vítima morre posteriormente no hospital, dado que não é computado pela polícia.

- Ministério da Saúde

O Ministério da Saúde, por meio do DATASUS, elabora as estatísticas de óbitos decorrentes de acidentes de trânsito a partir da documentação do SUS – Sistema único de Saúde. Esse sistema do MS computa as mortes das pessoas atendidas em estabelecimentos de saúde. É a fonte que será utilizada neste estudo, pois é a única a disponibilizar a quantidade de mortes por município.

A operacionalização desse Sistema é composta pelo preenchimento e coleta da Declaração de Óbito (DO) feita no estabelecimento de saúde, documento de entrada do sistema nos estados e municípios. Nos casos de óbitos por causas acidentais e/ou violentas o legista do Instituto Médico Legal (IML) ou, no caso de não existir na localidade o IML, o perito designado para tal preenche a DO. Essa DO passa pelas instâncias municipal e estadual, até ser consolidada pelo



Centro Nacional de Epidemiologia (Cenepi), na Base Nacional do Sistema de Informações sobre Mortalidade - SIM.

Devido ao longo caminho percorrido para a sistematização nacional das declarações de óbito, a última base disponível é do ano de 2007. Essa será a base trabalhada neste estudo. Mas cabe aqui esclarecer que a subnotificação no SUS também é acentuada.

- Seguros DPVAT

A terceira fonte é a Seguradora Líder dos Consórcios do Seguro DPVAT, um seguro obrigatório, instituído em 1974, para amparar as vítimas de acidentes com veículos. A instituição que administra o DPVAT vem divulgando a quantidade de seguros pagos por mortes no trânsito anualmente, por região e segundo o perfil das vítimas.

Essa avaliação global do número de mortes por ano segundo os seguros pagos é a fonte mais próxima da realidade brasileira. No entanto, assim como no DENATRAN e no DATASUS, também é possível considerar a existência de um subregistro relativo. Mesmo pagando regularmente esse seguro, muitos brasileiros ainda desconhecem o direito de receber indenização em caso de morte, invalidez permanente e despesas médicas e hospitalares de vítimas de acidentes de trânsito. Assim, nem todos os casos de morte por acidentes de trânsito geram pedidos de indenização junto às seguradoras do DPVAT, fato que deixa seus números também um pouco aquém da realidade.

No Brasil, há uma grande necessidade da criação de um banco de dados de informações de trânsito, não somente de acidentes, mais de informações de tráfego, acidentes e condições de vias, bem como outras informações relevantes. Esses dados, sistematizados em um banco de dados único, ofereceriam subsídio para a formulação de políticas públicas de segurança no trânsito nas diversas esferas de governo.

Há pouca iniciativa prática da esfera pública do Brasil em termos de ações de prevenção ao risco de acidentes de trânsito. As campanhas de conscientização de pouca abrangência, fiscalização deficiente aliadas a poucos estudos técnicos por parte da esfera pública agem a favor do aumento das estatísticas de acidentes de trânsito no Brasil.

Internacionalmente, principalmente na Europa e América do Norte, muitas ações de combate a acidentalidade no trânsito são tomadas pelos governos locais, sendo a variável informação (dados e estatísticas de acidentalidade) sendo fundamentais nessas análises.

Nos Estados Unidos, o Departamento de Transportes (*USDOT*), com a cooperação de *Motor Safety Administration Transport Federal* (FMCSA) e de *John A. Volpe Transportation Systems Center Nacional* desenvolveu um modelo analítico para medir a eficácia das ações de combate da acidentalidade no trânsito em termos do número de acidentes evitados, lesões que impediram e vidas salvas. Este modelo analítico é conhecido como o Modelo de Eficácia das Intervenções em Estradas (RIEM), que fornece informações necessárias para enfrentar as exigências de desempenho do governo norte americano. Além disso, oferece uma base quantitativa para aperfeiçoar a alocação de recursos de segurança.

Quanto às ações de seguradoras e transportadoras do transporte rodoviário de carga, há uma grande dificuldade para a obtenção de informações sobre as metodologias empregadas quanto os acidentes de trânsito, já que essas informações são tratadas como segredos comerciais e diferenciais competitivos no mercado. Porém, sabe-se que grande parte dessas empresas utilizam ferramentas de Gerenciamento de Risco como base de suas metodologias.

## 5 MÉTODO

Este capítulo apresenta o método desenvolvido no trabalho, mostrando as etapas necessárias para se realizar uma avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de cargas, com o auxílio da técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA).

### 5.1 INTRODUÇÃO

A Análise Envoltória de Dados é uma técnica estatística que visa avaliar a eficiência de unidades de tomada de decisão (DMU). Segundo Maçada e Beeker (1999), a aplicação de qualquer abordagem analítica de avaliação requer conhecimento a respeito da formulação de modelos, escolha de variáveis, hipóteses subjacentes, representação de dados, interpretação de resultados e conhecimento de suas limitações.

Em sua aplicação, A DEA necessita de conhecimento prévio sobre todos os fatores que influenciam na análise, tais como as variáveis e das DMU consideradas. Diversos autores, dentre eles Golany e Roll (1989) e Ângulo Meza (1998), destacam que a aplicação da técnica da Análise Envoltória de Dados pode ser sintetizada em três passos de execução. De acordo com o segundo autor, os passos são os seguintes:

- Definição e seleção de DMUs: essas unidades devem possuir mesmos produtos e insumos, variando apenas a intensidade. Além disso, devem ser homogêneas, ou seja, executar as mesmas tarefas;
- Seleção das Variáveis: devem ser selecionadas dentro de uma lista que contenha um conjunto de variáveis que são ligadas ao modelo, permitindo o conhecimento sobre as unidades a serem avaliadas;
- Escolha do modelo: deve-se escolher aquele modelo que melhor se adéque ao que se deseja estudar.

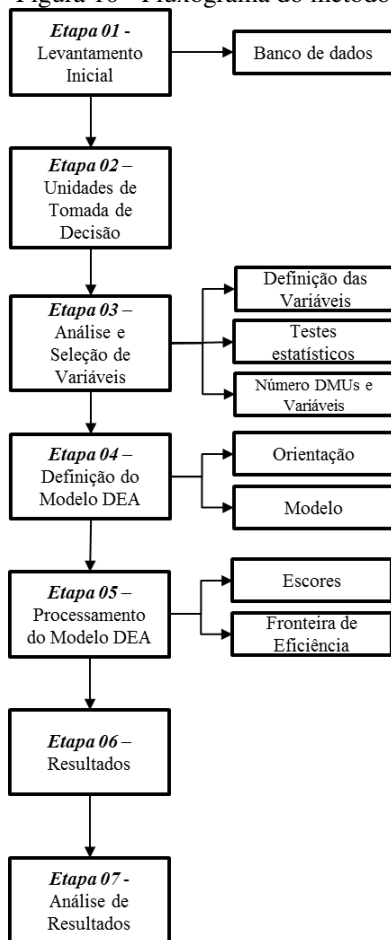
A partir dessa afirmação, percebe-se que os estudos sobre a técnica DEA são uma sucessão básica de etapas a serem seguidas, visando determinar a eficiência relativa das unidades avaliadas. Contudo, fazem-se necessárias adaptações e variações entre os métodos, de acordo com as características da pesquisa realizada.

A seguir, serão descritas cada uma das etapas para a construção de um método para avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de cargas a partir do uso da técnica DEA.

## 5.2 ETAPAS CONSTITUINTES DO MÉTODO

O método proposto neste trabalho possui 7 (sete) etapas distintas, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma do método



Fonte: Autor (2016)

Cada uma das etapas apresentadas na Figura 10 será descrita a seguir.

### **5.2.1 Etapa 01 - Levantamento Inicial**

A etapa de Levantamento Inicial consiste em um estudo do tema sob o qual a análise será efetuada, a partir do levantamento de informações, bem como da definição e delimitação do que se pretende estudar.

Uma das primeiras considerações a serem feitas é sobre qual o objeto a ser estudado, ou seja, quais as possíveis unidades de tomada de decisão (DMU) serão consideradas, se serão avaliadas malhas viárias, corredores logísticos, países, estados ou cidades, quais os possíveis critérios de definições, além da delimitação temporal a ser considerada no estudo.

Outro ponto importante nesta etapa é sobre as variáveis sob as quais as DMU's serão avaliadas. Para isso é importante conhecer bem o tema estudado para entender quais são os principais fatores, quais tem o maior impacto sobre as saídas, bem como sobre a disponibilidade de dados ou ainda sobre a dificuldade de coleta desses.

Além dos pontos listados acima, faz-se necessário a criação de um banco de dados preliminar, considerando todas as predefinições anteriores. No caso do transporte rodoviário de cargas (TRC), contagem de veículos para verificação do fluxo, número de acidentes e tamanho da malha são exemplos de dados.

### **5.2.2 Etapa 02 - Unidade de Tomada de Decisão (DMU)**

As unidades de tomada de decisão (DMU) são os objetos avaliados nas pesquisas que envolvem Análise Envoltória de Dados, sendo essas, as unidades produtivas consideradas para a realização dessa análise de eficiência. De acordo com Cooper *et al.*(2004) a definição de DMU é genérica e flexível, podendo ser qualquer unidade de produção onde existam insumos que se transformem em produtos.

Para Golany e Roll (1989), as DMUs que comporão o processo de avaliação são afetadas por aspectos organizacionais, físicos e regionais, além de aspectos relativos ao período de tempo usado na medição das atividades exercidas.

Para Mariano (2008), o resultado da eficiência produtiva encontrado por uma técnica DEA estará diretamente ligado ao conjunto

de DMUs adotado na análise, sendo que qualquer afirmação a respeito da eficiência de uma DMU será válida apenas para aquele conjunto, naquele determinado momento.

Segundo Golany e Roll (1989), os intervalos de tempo não devem ser longos, pois não deixam clara a ocorrência de importantes aspectos de mudanças, enquanto períodos mais curtos podem fornecer uma visão limitada das atividades desempenhadas pelas DMUs.

A DEA possui grande flexibilidade quanto ao uso de DMUs. A Tabela 5 apresenta alguns exemplos de DMUs utilizadas em trabalhos com base na técnica DEA.

Tabela 5 - Exemplos de DMUs utilizadas em trabalhos com base na técnica DEA

<b>Autor</b>	<b>DMUs utilizadas</b>
Belloni (2000)	Universidades brasileiras
Mello <i>et al.</i> (2005)	Unidades policiais
Kassai (2002)	Empresas do setor elétrico
Azambuja (2002)	Sistemas de transportes de várias cidades brasileiras
Novaes (2001)	Metrô de diversas capitais do mundo
Sampaio <i>et al.</i> (2006)	Sistemas de transporte público em diversas capitais no nordeste e no mundo
Rios, Maçada e Becker (2004)	Terminais de contêineres

Fonte: Adaptado de Araújo (2008)

No TRC, são várias as possibilidades a serem exploradas quanto ao uso das DMUs. A Tabela 6 apresenta algumas possibilidades de DMUs a serem avaliadas com o uso da técnica DEA.

Tabela 6 - Possibilidades de DMUs a serem avaliadas com o uso da técnica DEA

<b>Tipo</b>	<b>Exemplo</b>
Países	Brasil, Argentina, México, Índia, Coreia do Sul
Estados	Santa Catarina, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná
Cidades	Florianópolis, Joinville, Criciúma, Chapecó, São José
Corredores	Belém (PA) - Brasília (DF), São Paulo (SP) - Rio de Janeiro (RJ), São Paulo (SP) - Cuiabá (MT)

Fonte: Autor (2016)

Nesta etapa do método, a escolha de quais DMUs serão utilizadas deverá ser realizada, lembrando que devem ser expostas as mesmas

condições de ambiente e de tempo, além de formarem um grupo homogêneo, diferindo apenas quanto a intensidade ou magnitude de seus efeitos.

### **5.2.3 Etapa 03 - Análise e Seleção de Variáveis**

A análise e seleção das variáveis é uma das principais etapas na elaboração de um estudo de Análise Envoltória de Dados, e também um dos mais discutidos dentro da análise. Para Souza (2012), esta fase da metodologia da DEA representa a busca de um modelo de referência, que descreva as relações de produção que regem as DMU's a serem analisadas.

Segundo Bowlin (1998), escolher *inputs* e *outputs* corretos é importante para a efetividade da interpretação, utilização e aceitação dos resultados da Análise DEA pelos gestores e outras partes afetadas.

De acordo com Kassai (2002), a introdução de um grande número de variáveis resulta em uma maior explicação das diferenças entre as DMUs, por outro lado, fará com que um número maior de DMUs esteja na fronteira. O acréscimo de muitas variáveis reduz a capacidade do DEA de discriminar as DMUs eficientes das ineficientes. Assim, é necessário que o modelo seja o mais condensado possível para que a metodologia DEA possua um maior poder discriminatório.

A seguir serão descritas as atividades necessárias e indicadas para a realização da análise e seleção das variáveis que comporão o modelo DEA. Vale ressaltar que essas etapas podem variar conforme a necessidade dos modelos estudados. A sequência aqui apresentada é a suficiente e indicada para estudos envolvendo a segurança no transporte rodoviário de carga.

#### **5.2.3.1 Definição das Variáveis**

A etapa inicial desse processo consiste na definição prévia das possíveis variáveis que virão a compor o modelo DEA. Essa definição passa por um estudo aprofundado sobre o tema que está sendo trabalhado, no caso desta pesquisa, a segurança no Transporte Rodoviário de Cargas. O conhecimento sobre o tema estudado ajudará no entendimento de quais são os principais fatores que afetam os acidentes no TRC, bem como as características das Unidades de Tomadas de Decisão previamente definidas.

Neste trabalho, a partir do estudo detalhado sobre o Transporte Rodoviário de Cargas e sobre as estatísticas de acidentes de trânsito, foram identificadas algumas variáveis que descrevem as esses temas, conforme a Tabela 7, a seguir.

Tabela 7 - Algumas variáveis que descrevem as esses temas

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Área	Km <sup>2</sup>	Consiste na área territorial da Localidade a ser avaliada.
População	Habitantes	É a população que habita a Localidade considerada.
Densidade	Hab/km <sup>2</sup>	É a taxa habitantes por quilometro quadrado da Localidade.
PIB	Milhões de Reais	É a soma das riquezas produzidas em um ano na Localidade considerada.
PIB per capita	Mil de Reais/Pessoa	É a individualização por habitante das soma das riquezas produzidas em um ano na Localidade considerada
Distancia Percorrida	km	É a quantidade estimada de quilômetros percorridos por caminhões nas localidades, baseada nas vendas de combustível destinado a esse tipo de veículo.
Condição do Pavimento	%	É a porcentagem dos pavimentos considerados "bons" ou "ótimos" no estudo realizado anualmente pelo CNT.
Frota Veículos	Veículos	Quantidade de veículos em cada localidade.
Frota Caminhões	Caminhões	Quantidade de caminhões em cada localidade.
Malha Total	km	Conjunto das vias rodoviárias das localidades consideradas.
Malha Pavimentada	km	Conjunto das vias rodoviárias pavimentadas das localidades consideradas.
Idade Média	Anos	Percentual dos caminhões com idade superior a 10 anos.
Mortes Totais	Mortes	Número de mortes relacionadas a acidentes de trânsito.
Acidentes Totais	Acidentes	Número de acidentes de trânsito.
Mortes Caminhões	Mortes	Número de mortes relacionadas a acidentes de trânsito com envolvimento de caminhões.
Acidentes Caminhões	Acidentes	Número de acidentes de trânsito com envolvimento de caminhões.

Fonte: Autor (2016)



Além das variáveis listadas na Tabela 7, várias outras afetam a segurança no transporte de cargas, porém são de mais complexa obtenção, como por exemplo, fluxo de veículos em uma localidade, velocidade média em um trecho, contagem de veículos, além de variáveis relacionadas aos motoristas como tempo de experiência, grau de escolaridade e percentual de motoristas autônomos. Outra possibilidade é o uso de taxas baseadas nas variáveis aqui propostas criando, por exemplo, a distância percorrida para cada acidente.

Após o levantamento dos fatores que afetam o estudo, bem como, a determinação das variáveis correspondentes, o próximo passo consiste em realizar um levantamento dos dados, combinando variáveis e as DMUs. Comumente nesta etapa, é criado um banco de dados com informações quantitativas e qualitativas, de vários períodos diferentes, organizados em planilhas eletrônicas.

#### 5.2.3.1.1 *Testes estatísticos*

Os testes estatísticos são uma etapa importante na seleção das variáveis que comporão o modelo, pois descrevem fielmente como se comportam as DMUs frente às variáveis que estão sendo analisadas, oferecendo assim, subsídios para a definição do modelo mais adequado a análise proposta.

A seguir a descrição sucinta de cada uma das partes que compõe os testes estatísticos deste trabalho.

##### 5.2.3.1.1.1 *Estatística básica*

A primeira parte dos testes estatísticos corresponde a análise da estatística básica da amostra. De acordo com Kassai (2002), essa análise possibilita conhecer o comportamento das diversas empresas para cada variável e em relação às estatísticas do grupo.

Nesta etapa, serão calculados os Mínimos, Máximos, Médias, Medianas, 1º e 3º Quartis, Desvios Padrão e Desvios Padrão das Médias. A partir desses dados, tem-se uma ideia do comportamento das variáveis do modelo DEA. Para a realização desta etapa, é importante o uso de *softwares* estatísticos visando agilizar a análise, bem como maior precisão e fiabilidade.

##### 5.2.3.1.1.2 *Valores Extremos (Outliers)*

Os valores extremos ou *outliers* são valores que apresentam características diferentes do grupo na qual estão inseridas. Desta maneira, esses *outliers* causam prejuízos a interpretação dos testes

estatísticos, bem como podem afetar a formação da fronteira de eficiência do conjunto de dados.

Para a identificação desses *outliers* em uma amostra, existem vários métodos, porém o mais usual é o Score Z, que possui a premissa que será considerado *outlier* o valor que estiver a determinados desvios padrões da média da amostra, sendo essa quantidade de desvios definida pelo tamanho da amostra analisada.

Apesar da relativa facilidade na identificação dos *outliers* em uma amostra, recomenda-se o uso *softwares* estatísticos visando agilizar a análise, bem como maior precisão e confiabilidade ao teste.

A partir da identificação da presença de *outliers* há basicamente três alternativas para o analista. Segundo Araújo (2008), a primeira alternativa consiste em eliminar esse *outlier*, caso seja constatado que aquele valor realmente foge de uma caracterização geral da amostra. Ainda para o autor, a segunda alternativa é manter o *outlier* se constatado que aquele valor, mesmo estando fora das características da amostra, representa uma referência para que as demais DMUs tentem atingir aquele padrão de produção. Há, ainda, uma terceira alternativa, que consiste na substituição da variável onde há o espúrio.

A decisão a ser tomada quanto ao *outliers* identificado dependerá do conhecimento do analista sob as variáveis estudadas, bem como da representatividade do dado *outlier* para amostra estudada.

#### 5.2.3.1.1.3 Normalidade dos dados

Após a identificação dos valores espúrios a amostra a próxima etapa consiste no teste de normalidade dos dados. Esse teste é usado para determinar se um conjunto de dados se ajusta a uma distribuição normal ou não. Há varias metodologias para verificar a normalidade dos dados, entre elas o Teste de Anderson-Darling, Teste de Shapiro-Wilk, Teste do Qui-Quadrado e o Teste de Kolmogorov-Smirnov.

A escolha por qualquer um dos métodos irá depender do tipo de dados que você possui, como por exemplo, se a variável é dependente ou independente e do tamanho da amostra. Para facilitar essa etapa do método, é importante o uso de um *software* estatístico para dar maior fiabilidade e rapidez aos resultados da análise.

#### 5.2.3.1.1.4 Análise de Correlação

A Análise de Correlação é outra etapa importante na metodologia DEA, já que ela estuda a relação entre as variáveis pré-definidas. De acordo com Kassai (2002), essas relações podem ter dois significados:

- Causalidade: o comportamento de uma variável influencia o comportamento de outra, no mesmo sentido (correlação positiva) ou em sentido oposto (correlação negativa);
- Redundância: as variáveis têm comportamento próximo, pois se referem ao (explicam o) mesmo aspecto do fenômeno.

Além de conhecer melhor o relacionamento entre essas, a matriz de correlação auxilia na seleção das variáveis que melhor representam o fenômeno estudado, retirando da análise aquelas que não se apresentaram relevantes para o estudo, já que a metodologia DEA é afetada diretamente pela quantidade de variáveis estudadas.

Kassai (2002) relata que diversos estudos indicam que quanto maior o número de variáveis do modelo, maior a possibilidade de uma unidade alcançar a fronteira de eficiência relativa. Assim, quanto menor for o número de variáveis que explicam o fenômeno estudado, maior torna-se o poder discriminatório do modelo.

#### 5.2.3.1.1.5 *Análise de Clusters*

A Análise de *Clusters*, também conhecida como Análise de Agrupamentos, é uma alternativa estatística para a classificação de objetos em grupos homogêneos, que possuem características semelhantes dentro de um grupo maior. Esse tipo de agrupamento é utilizado para alcançar maior homogeneidade dentro da amostra considerada.

Quando as unidades avaliadas possuem características e portes diferentes, pode ocorrer a avaliação de unidade de cenários completamente diferentes. Por exemplo, numa comparação sobre o PIB (Produto Interno Bruto) de todos os países do mundo, avaliar a economia dos Estados Unidos (maior economia do mundo) com países da África e Oceania sob uma mesma ótica parece exagerado. Com a Análise de *Clusters*, haveria um agrupamento dos países de acordo suas similaridades, como por exemplo, um agrupamento dos países desenvolvidos (Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra), países em desenvolvimento (Brasil, Índia, Coréia do Sul) e subdesenvolvidos (Congo, Niger e Samoa), que possuem economias similares.

No caso do Transporte Rodoviário de Cargas, as DMUs avaliadas, por vezes podem estar inseridas em realidades distintas, como por exemplo, malhas viárias para o escoamento de grãos e outra para deslocamento dentro de uma mesma região.

A aplicação da Análise de *Cluster* como parte da seleção das variáveis dentro de uma análise DEA não é necessariamente indispensável, porém é importante a verificação já que em alguns casos, o comportamento das variáveis não são tão visíveis sem uma análise estatística mais profunda como é o caso da Análise de *Cluster*. Para esta análise também é recomendado o uso de um *software* estatístico para realização dos cálculos com maior precisão.

#### 5.2.3.1.2 *Número de DMU's e Variáveis*

Diversos autores desenvolveram metodologias para determinar o número de unidades e variáveis a ser analisado em um estudo DEA (LINS E MEZA, 2000; FITZSIMMONS e FITZSIMMONS, 2000; KASSAI, 2002). De acordo com os esses autores, o número de unidades analisado deve ser no mínimo o dobro da soma de *inputs* e *outputs* utilizados no modelo.

Assim, a formulação para a determinação do número de unidades mínimo necessário é obtido de acordo com a equação 19:

$$U = 2 \times (\text{IMP} + \text{OUT}) \quad (19)$$

Onde:

U = Número de unidades a serem avaliadas;

IMP = Entradas (*Input*);

OUT = Saídas (*Output*).

Caso o número de variáveis seja inferior ao desejável, recomenda-se realizar novamente a etapa de análise e seleção de variáveis, com o intuito de reduzir o número de variáveis no modelo.

### 5.2.4 **Etapas 04 - Definição do Modelo DEA**

Depois de serem definidos quais DMUs serão utilizadas e quais variáveis são mais representativas para o modelo, o próximo passo consiste em definir o Modelo DEA a ser utilizado na análise. De acordo com Araújo (2008), o objetivo desta etapa é determinar um modelo com número mínimo de variáveis (insumos e produtos) que indique quais unidades (dentre as que estão sendo analisadas) são eficientes e quais são ineficientes. Assim, quanto aos modelos DEA, basicamente duas decisões devem ser tomadas: qual orientação deve ser seguida e qual retorno do modelo DEA melhor se enquadra aos objetivos do estudo.

#### 5.2.4.1 Definição da orientação

A decisão sobre qual orientação é mais adequada recai sobre três possibilidades: orientado para *Input*, para *Output* ou para *Input/Output*. De acordo com Périco (2009), para a melhor seleção da orientação de eficiência da análise, devem-se haver dois questionamentos:

- As unidades produzem determinado nível de *output*, quanto é possível reduzir os *inputs*, mantendo o nível atual de *output*?  
✓ Resposta: Melhor orientação para *inputs*.
- As unidades utilizam determinado nível de *input*, qual é o maior nível de *output* que pode ser alcançado com esse nível de *input*?  
✓ Resposta: Melhor orientação para *outputs*.

Ainda, de acordo com o autor, a DEA possui ainda uma terceira opção em relação à orientação dos modelos: a orientação *input-output*, que constitui uma junção dos modelos anteriores, ou seja, aumentar ao máximo os *outputs*, reduzindo ao mínimo os *inputs*.

Neste trabalho, como o objetivo da análise é avaliar o desempenho das Unidades de Tomada de Decisão (DMU) quanto ao nível de acidentes, a orientação mais indicada deverá ser para *Output*.

Porém, dependendo da escolha do *input* e *output* além dos objetivos do estudo, outra orientação poderá ser mais adequada.

#### 5.2.4.2 Definição dos retornos do modelo DEA

De acordo com Brunetta (2004) ressalta duas possibilidades de retornos nos modelos DEA: retorno constante de escala (CRS ou CCR), retornos não crescentes de escala (NIRS), retornos não decrescentes de escala (NDRS) e retornos variáveis de escala (VRS ou BCC), sendo que a CCR e BCC são as mais consideradas, sendo NIRS e NDRS consideradas variações da BCC.

A decisão sobre qual orientação é mais adequada passa pelo conhecimento do comportamento das variáveis quanto alteração de magnitude dos valores. Para Brunetta (2004):

“Uma tecnologia apresenta retorno constante de escala quando os *inputs* aumentam ou diminuem numa mesma proporção dos *outputs*, isto é, quando os *inputs* aumentam ou diminuem num fator  $\lambda$ , sendo  $\lambda$  um escalar positivo, a produção

irá aumentar ou diminuir por este mesmo fator  $\lambda$ . Já, quando uma tecnologia apresenta retorno variável de escala, não segue nenhum dos padrões anteriores, ou seja, quando os *inputs* são multiplicados por um fator  $\lambda$ , os *outputs* podem seguir qualquer comportamento em relação a este fator  $\lambda$ ".

Além do retorno de escala dos *inputs* e *output*, Araújo (2008) ressaltava outro ponto que influencia na escolha do modelo, que é o porte das DMUs analisadas. De acordo com o autor, quando se tem DMUs mais uniformes quanto ao porte (tamanho) e características, pode-se utilizar o modelo CCR. Caso haja uma variação grande no porte e características entre as DMUs em análise, utiliza-se o modelo com retornos de escalas variáveis (BCC).

Neste trabalho, como não há, necessariamente, uma relação linear entre o aumento dos *inputs* e um consequente aumento equivalente nos *outputs*, além disso, não havendo uniformidade no porte das DMUs analisadas, optou-se pelos retornos variáveis de escala (VRS ou BCC).

### 5.2.5 Etapa 05 - Processamento do modelo DEA

Essa etapa consiste no processamento, em *software* específico para as análises DEA, dos dados das DMUs e das variáveis selecionadas nas etapas anteriores, alinhadas com o modelo DEA também definido anteriormente. Comumente, os dados são organizados em planilhas do *software* Microsoft Office Excel®, já que a maioria dos *softwares* que realizam as análises DEA possui suporte a esta plataforma.

#### 5.2.5.1 *Softwares* de modelagem DEA

Desde a década de 1980, diversos *softwares* foram desenvolvidos para a solução de problemas envolvendo a Análise Envoltória de Dados, facilitando a resolução e acelerando a solução problemas. Angulo Meza *et al.* (2005) ressaltava que esses *softwares* podem fornecer diversos indicadores como: os escores de eficiência, os alvos, *benchmarking* para unidades ineficientes, pesos para as variáveis, folgas, entre outros.

Há atualmente no mercado uma série de *softwares* que realizam essa análise, conforme apresenta a Tabela 8, a seguir.

Tabela 8 - *Softwares* específicos para Análise Envoltória de Dados

<i>Software</i>	<i>Licença</i>	<i>Desenvolvedor</i>
DEA-Solver-Pro	Comercial	SAITECH, Inc.
Frontier Analyst®	Comercial	Banxia <i>Software</i> Ltd.
OnFront	Comercial	Rolf Färe e Shawna Grosskopf
Warwick DEA	Comercial	Thanassoulis, Halstead, Stelliaros, Dyson, Athanassopoulos e Emrouznejad
DEA Excel Solver	Livre	Joe Zhu
DEAP	Livre	Tim Coelli
SEM=: Efficiency Measurement System	Livre	Holger Scheel
PIONEER 2	Livre	Thomas McCloud e Richard Barr
SIAD	Livre	Angulo Meza <i>et al.</i> (2005)

Fonte: Adaptado de Barr (2004)

Cada um dos *softwares* apresentados anteriormente apresentam características e funcionalidades que podem aumentar ou diminuir a complexidade da análise, bem como oferecendo uma maior gama de informações sobre os dados analisados.

A escolha por um determinado *software*, para a realização de uma análise DEA, deve recair sobre os objetivos da pesquisa, já que para algumas análises, são necessários alguns modelos e informações que os *softwares* mais simples não disponibilizam. Além disso, impactam também na escolha a natureza dos dados disponíveis, já que em algumas situações são necessárias adaptações para viabilizar o uso da ferramenta e também a disponibilidade deste *software*, sendo que grande parte deles são comerciais e excessivamente caros.

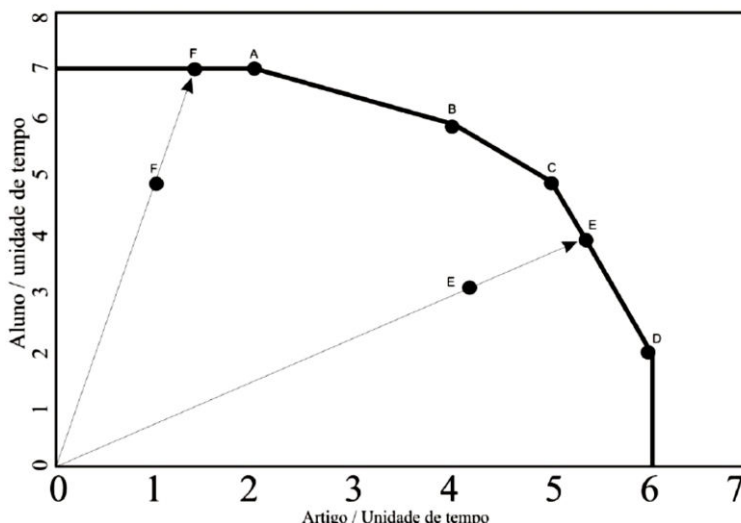
#### 5.2.5.2 Resultados do processamento do modelo DEA

Após a etapa de processamento do modelo DEA, são apresentados os resultados do modelo DEA inserido. De maneira geral, o resultado é apresentado de duas maneiras: a primeira são os escores, classificação de cada umas das DMUs de acordo com o modelo; a segunda maneira é gráfica, chamada Fronteira de Eficiência, que apresenta, em um plano cartesiano, a distribuição das DMUs de acordo com os critérios avaliados.

Quanto aos resultados do DEA e construção da fronteira de eficiência, alguns autores afirmam que:

“A construção dessa fronteira é possível porque a solução da DEA permite identificar as organizações cujos planos de produção, dados os pesos determinados para suas quantidades de produtos e insumos, tornam-se unidades-referência para as demais, já que seus índices de desempenho não podem ser superados pelos planos de produção das outras unidades que compõem o conjunto analisado. Outra possibilidade, a partir dos resultados de DEA, é de serem apontadas medidas necessárias para a otimização das organizações não eficientes, ou seja, o que deve ser acrescentado ou diminuído para otimizar a relação insumo/ produto (PIMENTEL (2009); KASSAI, 2002; NIEDERAUDER, 1998).”

Figura 11 - Representação gráfica do DEA



Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2000)

Em síntese, de acordo com Belloni (2000), os resultados de um modelo DEA são:

- Um índice de eficiência que compara as organizações dentro do conjunto de organizações analisadas;



- A construção de uma fronteira envoltória de eficiência e, consequentemente, o destaque de organizações como unidades-referência;
- Uma medida de ineficiência para cada entidade fora da fronteira de eficiência;
- Pesos ou taxa de substituição que determinam das relações de insumo/produto como eficiente em cada região da fronteira.

### 5.2.6 Etapa 06 - Resultados

Além dos resultados do processamento do modelo, há outras formas de resultados que podem ser desenvolvidos de acordo com o direcionamento que a pesquisa tiver como, por exemplo, realizando um *benchmarking* com outras DMUs ou ainda comparar com dados de outras fontes como rankings ou listas.

No caso deste modelo, como o objetivo principal é avaliar a segurança no transporte rodoviário de cargas, uma análise como nas orientações tradicionais para modelos DEA (para *inputs* e para *outputs*) seria equivocada, haja vista que iria minimizar os *inputs* ou maximizar os *outputs*, ou seja, minimizar dados de entrada ou maximizar os níveis de acidentes e mortes.

Desta maneira, uma alternativa possível é realizar uma análise a partir de uma ótica inversa. Com o uso da Fronteira Invertida e da Eficiência Composta, que oferecem maior capacidade de descrição do modelo, pode-se afirmar que as DMUs que obtiveram as menores pontuações serão as mais eficientes. Assim, a DMU mais eficiente do ponto de vista desta análise seria a que possui a menor pontuação na Eficiência Composta Padronizada.

### 5.2.7 Etapa 07 - Análise de Resultados

A análise dos resultados pode ser direcionada de várias maneiras. Comumente os resultados são analisados com foco em cada uma das DMUs, comparando-as entre si, na ótica das variáveis selecionadas ou ainda no agrupamento das DMUs com características semelhantes, os chamados *clusters*.

Deve-se considerar, também, para fins de análise dos resultados do método o uso da técnica da Fronteira Invertida e da Eficiência Composta, descrita no Capítulo 3.

Outra alternativa de análise que pode ser efetuada consiste na sugestão de solução para as DMUs consideradas ineficientes na análise porém, para isso, é necessário um estudo profundo das variáveis e das condições que a tornaram ineficientes.

Na ótica da segurança no transporte rodoviário de cargas, torna-se importante ressaltar as possibilidades de melhorias que possam surgir a partir do conhecimento das unidades consideradas ineficientes como, por exemplo, priorização de rotas e redução de custos de seguros. Além disso, esses resultados podem servir como subsídios para ações públicas como mitigação de riscos de acidentes e priorização de investimentos.

## 6 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Este capítulo apresenta a aplicação do método, que consiste na confirmação prática do método proposto no capítulo anterior. Essa etapa do trabalho visa comprovar a aplicabilidade do método para avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de cargas, utilizando a técnica da Análise Envoltória de Dados (DEA).

### 6.1 INTRODUÇÃO

Esta etapa do estudo vem, através de um exemplo hipotético, desenvolvido com propósitos didáticos e ilustrativos, apresentar uma aplicação do método do trabalho. O objetivo principal deste capítulo é comprovar a aplicabilidade do método descrito no capítulo anterior.

### 6.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A região Alfa vem apresentando sérios problemas com acidentes de trânsito. Nos últimos cinco anos as estatísticas de acidentes aumentaram assustadoramente, sendo que somente nesse período houveram 159.400 acidentes de trânsito, ocasionando 6.225 mortes.

A situação torna-se mais grave quando são estratificados apenas os dados referentes aos acidentes envolvendo caminhões. Neste período de cinco anos, houveram 56.290 acidentes envolvendo caminhões, ocasionando 3.145 mortes, o que representa 35,31% da totalidade dos acidentes e 50,52% do total de mortes.

A região Alfa possui uma área territorial de 68.280 quilômetros quadrados, com uma população de 1.735.000 habitantes. Sua malha viária é de 9.277 quilômetros, sendo que 51,47% é pavimentada. A frota de veículos total é de 874.000 veículos, sendo destes 75.750 caminhões, equivalente a 8,67% do total de veículos.

Visando contribuir para a avaliação do problema da acidentalidade na região Alfa, realiza-se a aplicação prática do método proposto no capítulo anterior, com o objetivo de classificar cada uma das localidades quanto ao nível de exposição a acidentes dentro do transporte rodoviário, a partir do método proposto no Capítulo 5. A seguir, serão descritas todas as etapas do método, com todos os seus processos, resultados e análises.

### 6.3 ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO

#### 6.3.1 Etapa 01 - Levantamento Inicial

Para avaliar nível da segurança no transporte rodoviário de cargas é necessário ter um conhecimento prévio dos principais fatores que afetam este setor. Um dos grandes problemas quando se procura trabalhar com transportes no Brasil é a carência de dados.

Não há no país um órgão que efetue a coleta e controle dos dados de transporte de maneira unificada, apenas alguns órgãos ligados a administração pública realizam os registros das informações que os convém. Há, também, atitudes de organismos privados de realizar essa tarefa, porém, para preservar o investimento que fazem para conseguir esses dados, não dão publicidade a eles. Assim, a tarefa de realizar um trabalho que necessite de dados sobre o transporte de cargas, torna-se uma jornada árdua.

Com base no método descrito no capítulo anterior, foram selecionadas as dezesseis (16) variáveis propostas. Na Tabela 9, são apresentadas as variáveis propostas.

Tabela 9 - Variáveis propostas nesta etapa

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>
Área	Km <sup>2</sup>
População	Habitantes
Densidade	Hab./km <sup>2</sup>
PIB	Milhões de Reais
PIB per capita	R\$/Habitante
Distancia Percorrida	Km
Condição do Pavimento	%
Frota Veículos	Veículos
Frota Caminhões	Caminhões
Malha Total	Km
Malha Pavimentada	Km
Idade Média	Anos
Mortes Totais	Mortes
Acidentes Totais	Acidentes
Mortes Caminhões	Mortes
Acidentes Caminhões	Acidentes

Fonte: Autor (2016)

A escolha por essas variáveis se dá pela disponibilidade dos dados, já que são provenientes de fontes de divulgação livre, pela

capacidade de discriminação da DMUs consideradas e principalmente pelo potencial de descrever o fenômeno estudado.

O método proposto no capítulo anterior sugere vários tipos de unidades que podem ser avaliadas, como por exemplo, países, estados, cidades e corredores viários. Contudo, como o objetivo desta etapa do trabalho não é fazer juízo de valor a qualquer localidade que seja, mas sim apresentar a aplicabilidade do método, não será avaliado nominalmente nenhuma localidade específica. Assim, os dados apresentados a seguir são sugeridos, tendo como base dados reais de localidades brasileiras. As tabelas a seguir, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, apresentam os dados utilizados neste trabalho.

Tabela 10 - Dados utilizados neste trabalho

Localidade	Sigla	Área Territ. Km <sup>2</sup>	População Hab.	Densidade Hab/km <sup>2</sup>	PIB Milh. R\$	PIB per capita R\$/Hab.	Distancia Percorrida km
Loc. A	LA	18.000	40.000	2,22	700	17.500,00	17.000.000
Loc. B	LB	6.000	150.000	25	2.000	13.333,33	6.000.000
Loc. C	LC	1.500	90.000	60	1.000	11.111,11	16.000.000
Loc. D	LD	80	30.000	375	2.000	66.666,67	12.000.000
Loc. E	LE	500	40.000	80	1.000	25.000,00	14.000.000
Loc. F	LF	3.000	60.000	20	1.500	25.000,00	8.500.000
Loc. G	LG	10.000	35.000	3,5	800	22.857,14	6.000.000
Loc. H	LH	5.000	250.000	50	4.000	16.000,00	200.000.000
Loc. I	LI	14.000	80.000	5,71	900	11.250,00	10.000.000
Loc. J	LJ	2.500	100.000	40	3.000	30.000,00	100.000.000
Loc. K	LK	1.000	80.000	80	1.000	12.500,00	4.000.000
Loc. L	LL	400	200.000	500	5.000	25.000,00	40.000.000
Loc. M	LM	3.000	120.000	40	3.000	25.000,00	80.000.000
Loc. N	LN	800	60.000	75	2.000	33.333,33	50.000.000
Loc. O	LO	2.500	400.000	160	15.000	37.500,00	200.000.000

Fonte: Autor (2016)

Tabela 11 - Dados utilizados neste trabalho (Continuação)

Localidade	Sigla	Condição	Frota	Frota	Malha Total	Malha Pavimentada
		Pavimento	Veículos	Caminhões		
		%	Veículos	Caminhões	km	km
Loc. A	LA	5%	8.000	800	600	60
Loc. B	LB	40%	40.000	4.400	1140	570
Loc. C	LC	30%	28.000	2.500	380	230
Loc. D	LD	50%	15.000	1.100	37	20
Loc. E	LE	40%	18.000	1.800	180	100
Loc. F	LF	40%	40.000	3.700	600	340
Loc. G	LG	15%	18.000	1.750	680	400
Loc. H	LH	40%	100.000	10.000	1800	1080
Loc. I	LI	10%	17.000	1.100	780	240
Loc. J	LJ	50%	70.000	7.000	640	385
Loc. K	LK	30%	30.000	2.300	290	250
Loc. L	LL	60%	65.000	4.300	260	170
Loc. M	LM	30%	70.000	6.000	870	580
Loc. N	LN	40%	55.000	4.000	360	230
Loc. O	LO	80%	300.000	25.000	660	120

Fonte: Autor (2016)

Tabela 12 - Dados utilizados neste trabalho (Continuação)

Localidade	Sigla	Idade acima	Mortes	Acidentes	Mortes	Acidentes
		de 10 anos	Totais	Totais	Caminhões	Caminhões
		%	Mortes	Acidentes	Mortes	Acidentes
Loc. A	LA	35%	20	220	5	80
Loc. B	LB	35%	860	10.300	430	4.000
Loc. C	LC	40%	240	4.000	100	1.300
Loc. D	LD	35%	70	1.500	10	210
Loc. E	LE	40%	260	8.000	150	3.000
Loc. F	LF	44%	520	7.700	250	2.700
Loc. G	LG	40%	270	4.500	180	3.000
Loc. H	LH	48%	1.200	27.000	620	10.500
Loc. I	LI	30%	200	4.000	90	1.500
Loc. J	LJ	52%	185	21.000	370	7.000
Loc. K	LK	36%	450	7.200	150	2.300
Loc. L	LL	50%	580	18.000	210	6.000
Loc. M	LM	56%	460	14.000	180	3.700
Loc. N	LN	46%	550	18.000	260	5.500
Loc. O	LO	51%	360	14.000	140	5.500

Fonte: Autor (2016)

### 6.3.2 Etapa 02 - Unidades de Tomadas de Decisão (DMU)

A região Alfa foi seccionada em quinze localidades, com características distintas entre si, para facilitar a descrição do problema. Todas as informações sobre as unidades consideradas são baseadas em

dados reais, sendo que a temporalidade dos dados não se torna relevante, haja vista que os dados são sugeridos.

A opção por realizar uma aplicação com localidades sugeridas, baseadas em dados reais, deve-se a proposta dessa aplicação que consiste em comprovar a aplicabilidade do método, assim, não realizando juízo de valor sobre qualquer localidade.

Na Tabela 13 são apresentadas as unidades de tomada de decisão (DMU) consideradas neste trabalho.

Tabela 13 - Unidades de Tomada de Decisão (DMU) consideradas

Localidade	Sigla	Área	População	Densidade	PIB	PIB per capita
		Territorial (Km <sup>2</sup> )	Hab.	Hab./km <sup>2</sup>	Milh. R\$	R\$/Hab.
Loc. A	LA	18.000,00	40.000	2,22	700	17.500,00
Loc. B	LB	6.000,00	150.000	25	2.000,00	13.333,33
Loc. C	LC	1.500,00	90.000	60	1.000,00	11.111,11
Loc. D	LD	80	30.000	375	2.000,00	66.666,67
Loc. E	LE	500	40.000	80	1.000,00	25.000,00
Loc. F	LF	3.000,00	60.000	20	1.500,00	25.000,00
Loc. G	LG	10.000,00	35.000	3,5	800	22.857,14
Loc. H	LH	5.000,00	250.000	50	4.000,00	16.000,00
Loc. I	LI	14.000,00	80.000	5,71	900	11.250,00
Loc. J	LJ	2.500,00	100.000	40	3.000,00	30.000,00
Loc. K	LK	1.000,00	80.000	80	1.000,00	12.500,00
Loc. L	LL	400	200.000	500	5.000,00	25.000,00
Loc. M	LM	3.000,00	120.000	40	3.000,00	25.000,00
Loc. N	LN	800	60.000	75	2.000,00	33.333,33
Loc. O	LO	2.500,00	400.000	160	15.000,00	37.500,00

Fonte: Autor (2016)

### 6.3.3 Etapa 03 - Análise e Seleção de Variáveis

Na Tabela 9, foram sugeridas dezesseis variáveis para a composição do modelo, porém esse número é excessivo, já que foram consideradas quinze DMUs, e diversos autores sugerem que, no mínimo, o número de variáveis deve ser a metade do número de DMU's do modelo. Torna-se necessária uma seleção das variáveis mais representativas para apreciação do fenômeno estudado, neste caso, a segurança no transporte rodoviário de cargas.

A seguir, sucedem-se várias etapas onde serão realizadas a análise e seleção das variáveis previamente definidas.

Para a realização das análises a seguir, foram utilizados dos *softwares* estatísticos. O primeiro deles XLSTAT, desenvolvido pela empresa Addinsoft, é um *software* de análise de dados e estatísticas, que

trabalha adicionalmente ao Microsoft Excel. O outro *software* utilizado é o Action, desenvolvido pela Equipe Estatcamp (2014), em Campinas, estado de São Paulo que, assim como o anteriormente descrito, é um *software* de análise estatística adicional ao Microsoft Excel.

#### 6.3.3.1 Definição das Variáveis

As variáveis apresentadas na Tabela 9, são os pontos de partida para essa análise. Nela são listadas as variáveis pré-selecionadas, bem como as unidades dos dados. Conforme citado na Etapa 01 – Levantamento de Informações, a escolha por essas variáveis deu-se por três motivos: disponibilidade dos dados, capacidade de discriminação de DMUs e capacidade de discriminação do fenômeno estudado.

##### 6.3.3.1.1 *Testes Estatísticos*

Os testes estatísticos são uma etapa fundamental na definição das variáveis que comporão o modelo. Esses testes definirão quais variáveis melhor representam o fenômeno estudado. A primeira etapa é a Estatística Básica.

##### 6.3.3.1.1.1 *Estatística Básica*

Com a estatística básica pode-se observar o comportamento das DMUs e variáveis com as estatísticas agrupadas. As tabelas a seguir, Tabela 14 e Tabela 15, apresentam os valores calculados de Número de observações, Mínimo, Máximo, 1º Quartil, Mediana, 3º Quartil, Média, Variância (n-1), Desvio Padrão (n), Desvio Padrão (n-1), Desvio Padrão Geométrico para a amostra considerada.

Observa-se, a partir da análise das tabelas sobre as estatísticas básicas, Tabela 14 e Tabela 15, que os dados apresentam certa uniformidade. Percebe-se também que não há nenhuma estatística apresentada que inviabilize alguma das variáveis.

Contudo, é necessário realizar outras análises estatísticas para confirmar a viabilidade do uso das variáveis analisadas, bem como dar prosseguimento a análise e seleção dessas variáveis.



Tabela 14 - Estatística básica

Estatística	N° de obs.	Mínimo	Máximo	1° Quartil	Mediana	3° Quartil
Área Territorial	15	80	18.000,00	900	2.500,00	5.500,00
População	15	30.000,00	400.000,00	50.000,00	80.000,00	135.000,00
Densidade	15	2,22	500	22,5	50	80
PIB	15	700	15.000,00	1.000,00	2.000,00	3.000,00
PIB per capita	15	11.111,11	66.666,67	14.666,67	25.000,00	27.500,00
Distancia Percorrida	15	4,00E+06	2,00E+08	9,25E+06	1,60E+07	6,50E+07
Condição Pavimento	15	5%	80%	30%	40%	45%
Frota Veículos	15	8.000,00	300.000,00	18.000,00	40.000,00	67.500,00
Frota Caminhões	15	800	25.000,00	1.775,00	3.700,00	5.200,00
Malha Total	15	37	1.800,00	325	600	730
Malha Pavimentada	15	20	1.080,00	145	240	392,5
Idade acima de 10 anos	15	30%	56%	36%	40%	49%
Mortes Totais	15	20	1.200,00	220	360	535
Acidentes Totais	15	220	27.000,00	4.250,00	8.000,00	16.000,00
Mortes Caminhões	15	5	620	120	180	255
Acidentes Caminhões	15	80	10.500,00	1.900,00	3.000,00	5.500,00

Fonte: Autor (2016)

Tabela 15 - Estatística básica (Continuação)

Estatística	Média	Variância (n-1)	Desvio-padrão (n)	Desvio-padrão (n-1)	Desvio-padrão geométrico
Área Territorial	4.552,00	2,89E+07	5.196,13	5.378,50	4,31
População	115.666,67	1,02E+10	97.345,89	100.762,57	2,13
Densidade	101,1	2,08E+04	139,46	144,35	4,71
PIB	2.860,00	1,29E+07	3.468,87	3.590,62	2,31
PIB per capita	24.803,44	2,00E+08	13.668,44	14.148,18	1,65
Distancia Percorrida	5,09E+07	4,48E+15	6,47E+07	6,70E+07	3,63
Condição Pavimento	37%	4%	19%	19%	205%
Frota Veículos	58.266,67	5,16E+09	69.394,97	71.830,62	2,48
Frota Caminhões	5.050,00	3,69E+07	5.864,61	6.070,45	2,51
Malha Total	618,47	1,90E+05	420,67	435,44	2,5
Malha Pavimentada	318,33	7,25E+04	260,09	269,22	2,69
Idade acima de 10 anos	0,43	1%	7%	8%	120%
Mortes Totais	415	9,48E+04	297,42	307,86	2,76
Acidentes Totais	10.628,00	6,08E+07	7.534,16	7.798,59	3,41
Mortes Caminhões	209,67	2,63E+04	156,76	162,27	3,68
Acidentes Caminhões	3.752,67	7,77E+06	2.692,87	2.787,38	3,72

Fonte: Autor (2016)

### 6.3.3.1.1.2 Valores Extremos (Outliers)

Os *outliers* podem representar dificuldades para analisar os fenômenos estudados, uma vez que ele apresenta informações contrastantes com as demais do grupo considerado. O teste consiste em avaliar o valor mais distante da média do grupo, verificando se ele apresenta informação que possa vir a descaracterizar os dados. A Tabela 16 apresenta o resultado do teste para o grupo de variáveis analisadas.

Observa-se que apenas sete das dezesseis variáveis analisadas (Área Territorial, Distancia Percorrida, Condição do Pavimento, Idade acima de 10 anos, Acidentes Totais, Mortes Caminhões e Acidentes Caminhões) não possuem *outliers*. Para se definir o que fazer com os dados identificados, é necessário conhecer a origem das variações as variáveis e conhecer as características das DMUs.

O principal ponto a ser observado quando há *outliers* em um conjunto de dados é se essa informação corresponde a um valor não representativo, que possa vir a ser fruto de uma coleta de dados errônea, de uma variação anômala ou que seja um valor representativo, que seja referência para as demais DMUs do grupo estudado.

Tabela 16 - Testes de Valores Extremos

Variável	Outlier
Área Territorial	Não
População	Localidade O
Densidade	Localidade L,D e O
PIB	Localidade O
PIB per capita	Localidade D
Distancia Percorrida	Não
Condição do Pavimento	Não
Frota Veículos	Localidade O
Frota Caminhões	Localidade O
Malha Total	Localidade H
Malha Pavimentada	Localidade H
Idade acima de 10 anos	Não
Mortes Totais	Localidade H
Acidentes Totais	Não
Mortes Caminhões	Não
Acidentes Caminhões	Não

Fonte: Autor (2016)

Neste trabalho, como os dados baseados em dados resultado de coletas reais, entende-se que mesmo sendo contrastantes com o grupo,

eles são representativos, assim, não havendo necessidade de excluí-los da análise.

### 6.3.3.1.1.3 Normalidade dos dados

Após a identificação e definição quanto a exclusão dos *outliers* a próxima etapa é a análise da Normalidade dos dados. A decisão quanto aos *outliers* identificados na etapa anterior impactam diretamente sob a normalidade dos dados, pois quando há a presença destes, o grupo de dados tende a não se ajustar a uma distribuição normal.

Como se optou, na etapa anterior, pela não exclusão dos *outliers*, devido sua representatividade para o grupo de dados, as variáveis que possuem *outliers* tendem a não apresentar os dados normalmente distribuídos. As tabelas a seguir, Tabela 17 e Tabela 18, apresentam, respectivamente, os resultados dos testes de normalidade dos dados, por dois métodos distintos, Método de Shapiro-Wilk e Método de Anderson-Darling.

Tabela 17 - Testes de normalidade dos dados pelo método de Shapiro-Wilk

Variável	W	p-valor (bilateral)	alfa	Apresenta distribuição normal?
Área Territorial	0,779	0,002	0,05	não
População	0,786	0,002	0,05	não
Densidade	0,665	0,000	0,05	não
PIB	0,586	< 0,0001	0,05	não
PIB per capita	0,808	0,005	0,05	não
Distancia Percorrida	0,702	0,000	0,05	não
Condição do Pavimento	0,950	0,527	0,05	sim
Frota Veículos	0,614	< 0,0001	0,05	não
Frota Caminhões	0,647	< 0,0001	0,05	não
Malha Total	0,893	0,073	0,05	sim
Malha Pavimentada	0,847	0,016	0,05	não
Idade acima de 10 anos	0,956	0,631	0,05	sim
Mortes Totais	0,906	0,119	0,05	sim
Acidentes Totais	0,945	0,443	0,05	sim
Mortes Caminhões	0,903	0,106	0,05	sim
Acidentes Caminhões	0,940	0,386	0,05	sim

Fonte: Autor (2016)

Como previsto, apenas duas das variáveis (Malha Total e Mortes Totais) que possuíam *outliers* também apresentam seus dados de acordo com a distribuição normal. Assim, como houve a opção de manter os

*outliers* na etapa anterior, que impactou diretamente no resultado desta etapa, dar-se-á continuidade a avaliação das variáveis.

Tabela 18 - Testes de normalidade dos dados pelo método de Anderson-Darling

Variáveis	A <sup>2</sup>	P-valor (bilateral)	Alfa	Apresenta distribuição normal?
Área Territorial	1,333	0,001	0,05	Não
População	1,147	0,004	0,05	Não
Densidade	2,110	< 0,0001	0,05	Não
PIB	2,221	< 0,0001	0,05	Não
PIB per capita	0,875	0,019	0,05	Não
Distancia Percorrida	1,847	< 0,0001	0,05	Não
Condição do Pavimento	0,412	0,296	0,05	Sim
Frota Veículos	1,996	< 0,0001	0,05	Não
Frota Caminhões	1,830	< 0,0001	0,05	Não
Malha Total	0,557	0,124	0,05	Sim
Malha Pavimentada	0,746	0,040	0,05	Não
Idade acima de 10 anos	0,322	0,495	0,05	Sim
Mortes Totais	0,502	0,174	0,05	Sim
Acidentes Totais	0,343	0,440	0,05	Sim
Mortes Caminhões	0,560	0,122	0,05	Sim
Acidentes Caminhões	0,308	0,520	0,05	Sim

Fonte: Autor (2016)

#### 6.3.3.1.1.4 Análise de Correlação

A Análise de Correlação é uma etapa fundamental na análise e seleção das variáveis que comporão o modelo. Ela dá subsídios para se conhecer melhor o relacionamento entre as variáveis, bem como auxiliam a definição das que melhor representam o fenômeno estudado. Nas tabelas a seguir, Tabela 19 e Tabela 20, apresentam-se os resultados da análise de correlação das variáveis sugeridas.

Para identificar as variáveis que possuem correlação com entre si, neste trabalho, determinou-se que as variáveis que possuírem correlação com valores iguais ou maiores que 0,5 ou menores ou iguais a -0,5 possuem relação satisfatória, dados em negrito nas duas tabelas que apresentam os resultados da correlação, Tabela 19 e Tabela 20. Os dados que se encontram hachurados são das variáveis que possuem relação satisfatória com as variáveis de saída.

Tabela 19 - Teste de Correlação

Variáveis	Área Territ.	Pop.	Dens.	PIB	PIB per cap.	Dist. Perc.	Cond. Pav.	Frota Veíc.
Área Territorial	<b>1</b>	-0,18	-0,48	-0,24	-0,4	-0,16	<b>-0,72</b>	-0,23
População	-0,18	<b>1</b>	0,23	<b>0,91</b>	-0,01	<b>0,83</b>	<b>0,68</b>	<b>0,91</b>
Densidade	-0,48	0,23	<b>1</b>	0,3	<b>0,56</b>	0,02	<b>0,58</b>	0,14
PIB	-0,24	<b>0,91</b>	0,3	<b>1</b>	0,29	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,98</b>
PIB per capita	-0,4	-0,01	<b>0,56</b>	0,29	<b>1</b>	0,12	<b>0,51</b>	0,2
Distancia Percorrida	-0,16	<b>0,83</b>	0,02	<b>0,76</b>	0,12	<b>1</b>	<b>0,55</b>	<b>0,82</b>
Condição do Pavimento	<b>-0,72</b>	<b>0,68</b>	<b>0,58</b>	<b>0,77</b>	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	<b>1</b>	<b>0,72</b>
Frota Veículos	-0,23	<b>0,91</b>	0,14	<b>0,98</b>	0,2	<b>0,82</b>	<b>0,72</b>	<b>1</b>
Frota Caminhões	-0,22	<b>0,91</b>	0,07	<b>0,96</b>	0,18	<b>0,86</b>	<b>0,71</b>	<b>0,99</b>
Malha Total	0,34	0,43	-0,46	0,13	-0,43	<b>0,55</b>	-0,12	0,23
Malha Pavimentada	0,02	0,29	-0,36	-0,04	-0,38	0,47	-0,07	0,08
Idade acima de 10 anos	-0,48	<b>0,51</b>	0,17	<b>0,53</b>	0,18	<b>0,66</b>	<b>0,57</b>	<b>0,57</b>
Mortes Totais	-0,23	0,47	-0,04	0,15	-0,31	0,43	0,24	0,22
Acidentes Totais	-0,4	<b>0,56</b>	0,11	0,39	-0,03	<b>0,73</b>	<b>0,52</b>	0,46
Mortes Caminhões	-0,18	0,37	-0,21	0,08	-0,27	0,5	0,24	0,18
Acidentes Caminhões	-0,31	<b>0,61</b>	0,05	0,42	-0,08	<b>0,77</b>	0,49	0,49

Fonte: Autor (2016)

Tabela 20 - Teste de Correlação (Continuação)

Variáveis	Frot. Cam.	Malh. Total	Malh. Pav.	Idade 10 a.	Mort. Tot.	Acid. Tot.	Mort. Cam.	Acid. Cam.
Área Territorial	-0,22	0,34	0,02	-0,48	-0,23	-0,4	-0,18	-0,31
População	<b>0,91</b>	0,43	0,29	<b>0,51</b>	0,47	<b>0,56</b>	0,37	<b>0,61</b>
Densidade	0,07	-0,46	-0,36	0,17	-0,04	0,11	-0,21	0,05
PIB	<b>0,96</b>	0,13	-0,04	<b>0,53</b>	0,15	0,39	0,08	0,42
PIB per capita	0,18	-0,43	-0,38	0,18	-0,31	-0,03	-0,27	-0,08
Distancia Percorrida	<b>0,86</b>	<b>0,55</b>	0,47	<b>0,66</b>	0,43	<b>0,73</b>	0,5	<b>0,77</b>
Condição do Pavimento	<b>0,71</b>	-0,12	-0,07	<b>0,57</b>	0,24	<b>0,52</b>	0,24	0,49
Frota Veículos	<b>0,99</b>	0,23	0,08	<b>0,57</b>	0,22	0,46	0,18	0,49
Frota Caminhões	<b>1</b>	0,31	0,16	<b>0,58</b>	0,26	0,49	0,26	<b>0,53</b>
Malha Total	0,31	<b>1</b>	<b>0,9</b>	0,18	<b>0,71</b>	<b>0,5</b>	<b>0,76</b>	<b>0,59</b>
Malha Pavimentada	0,16	<b>0,9</b>	<b>1</b>	0,32	<b>0,81</b>	<b>0,62</b>	<b>0,86</b>	<b>0,68</b>
Idade acima de 10 anos	<b>0,58</b>	0,18	0,32	<b>1</b>	0,3	<b>0,74</b>	0,38	<b>0,66</b>
Mortes Totais	0,26	<b>0,71</b>	<b>0,81</b>	0,3	<b>1</b>	<b>0,69</b>	<b>0,86</b>	<b>0,73</b>
Acidentes Totais	0,49	<b>0,5</b>	<b>0,62</b>	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,97</b>
Mortes Caminhões	0,26	<b>0,76</b>	<b>0,86</b>	0,38	<b>0,86</b>	<b>0,8</b>	<b>1</b>	<b>0,86</b>
Acidentes Caminhões	<b>0,53</b>	<b>0,59</b>	<b>0,68</b>	<b>0,66</b>	<b>0,73</b>	<b>0,97</b>	<b>0,86</b>	<b>1</b>

Fonte: Autor (2016)

Como o objetivo desta aplicação é avaliação do nível da segurança no transporte rodoviário de cargas utilizando a técnica DEA, dentre as variáveis avaliadas, as que melhor representam este objetivo são Mortes Caminhões e Acidentes Caminhões. Sendo assim, essas duas variáveis serão os *Outputs* do modelo.

Com os *outputs* definidos e a partir dos dados obtidos com a correlação, pode-se realizar a seleção das variáveis mais representativas. Essa seleção é feita avaliando-se a correlação de todas as variáveis com os *outputs* definidos.

A partir da análise da tabela de correlação e dos critérios definidos para a determinação da correlação aceitável entre as variáveis, foram determinadas 10 variáveis que se enquadram nestes critérios. Na Tabela 21 apresentam-se as variáveis que possuem correlação aceitável, dentre as avaliadas.

Tabela 21 - Variáveis que possuem correlação aceitável

<b>Tipo</b>	<b>Variável</b>
<i>Input 1</i>	População
<i>Input 2</i>	Distancia Percorrida
<i>Input 3</i>	Frota Caminhões
<i>Input 4</i>	Malha Total
<i>Input 5</i>	Malha Pavimentada
<i>Input 6</i>	Idade acima de 10 anos
<i>Input 7</i>	Mortes Totais
<i>Input 8</i>	Acidentes Totais
<i>Output 1</i>	Mortes Caminhões
<i>Output 2</i>	Acidentes Caminhões

Fonte: Autor (2016)

Além do conhecimento sobre estatística quando da seleção das variáveis, é de fundamental importância que o analista possua amplo conhecimento sobre o tema trabalhado, bem como das variáveis e DMUs estudadas, pois nem sempre somente o conhecimento sobre a técnica é suficiente para se obter êxito em análise deste tipo.

Dentre as variáveis com correlação aceitável, duas não podem ser diretamente relacionadas aos *outputs*. Mortes Totais e Acidentes Totais são dados gerais, tomados a partir das estatísticas de todos os acidentes e mortes relacionadas ao trânsito, não necessariamente relacionados ao Transporte Rodoviário de Cargas. A partir desta constatação, optou-se por excluir essas variáveis da sequência da análise.

Outra variável, População, apesar de haver correlação com as variáveis de saída (*output*), não necessariamente impacta nas mortes ou acidentes com caminhões, sendo assim, essa variável também será desconsiderada.

Após a exclusão de três (Mortes Totais, Acidentes Totais e População) das dez variáveis previamente selecionadas, o modelo será

composto por sete variáveis, sendo cinco delas de entrada (*Input*) e duas de saída (*Output*). A Tabela 22 apresenta as variáveis que comporão o modelo.

Tabela 22 - Variáveis que comporão o modelo

<b>Tipo</b>	<b>Variável</b>
<i>Input 1</i>	Distancia Percorrida
<i>Input 2</i>	Frota Caminhões
<i>Input 3</i>	Malha Total
<i>Input 4</i>	Malha Pavimentada
<i>Input 5</i>	Idade acima de 10 anos
<i>Output 1</i>	Mortes Totais
<i>Output 2</i>	Acidentes Caminhões

Fonte: Autor (2016)

#### 6.3.3.1.1.5 *Análise de Clusters*

Após a definição das variáveis que comporão o modelo, há, ainda, necessidade da verificação quanto à homogeneidade das unidades (DMUs) dentro do grupo considerado. Com base nas quinze DMUs consideradas, bem como nas sete variáveis selecionadas, a Tabela 23 a seguir apresenta a Análise de *Clusters* para as DMUs do modelo.

Tabela 23 - Análise de *Cluster*

<b>Decomposição da variação para a classificação ótima</b>	<b>Absoluto</b>
Intra-classe	6,27831E+20
Inter-classes	-
Total	4,48451E+19
<b>Número de Classes</b>	<b>1</b>
Objetos	15
Soma dos pesos	15
Variância intra-classe	4,48E+19
Distância mínima ao centróide	9,00E+07
Distância média ao centróide	5,02E+09
Distância máxima ao centróide	1,49E+10

Fonte: Autor (2016)

A partir da análise da Tabela 23, observa-se não há necessidade do agrupamento de unidades dentro do grupo considerado, já que há grande homogeneidade entre estas.

#### 6.3.3.1.1.6 Número de DMU's e Variáveis

Para a determinação do número mínimo de unidade de tomada de decisão serão necessários no modelo deve-se atender a condição de que o número de unidades analisado deve ser no mínimo o dobro da soma de *inputs* e *outputs* utilizados no modelo.

O modelo aqui descrito é composto por sete variáveis sendo, cinco delas variáveis de entrada (*input*) e duas delas de saída (*output*), além das quinze unidades de tomada de decisão (DMUs). Assim, a partir de um simples cálculo ( $2 \times (5 + 2) = 14$  variáveis necessárias no mínimo), constata-se que o número de unidades (15) que compõem o modelo são suficientes para satisfazer essa necessidade.

### 6.3.4 Etapa 04 - Definição do Modelo DEA

Após a definição das unidades de tomada de decisão (DMU) e das variáveis que comporão o modelo, a etapa seguinte consiste na definição da estrutura do modelo DEA. Basicamente duas decisões precisam ser tomadas nesta etapa: qual orientação deve ser seguida e qual retorno do modelo DEA melhor se enquadra aos objetivos do estudo.

Quanto à decisão sobre qual a orientação a ser seguida, como o objetivo da análise é avaliar o desempenho das DMUs quanto ao nível de acidentes, ou seja, no sentido de avaliar as variáveis de saída Mortes Caminhões e Acidentes Caminhões, a orientação indicada deverá para as saídas (*outputs*).

Já quanto à decisão sobre qual o melhor retorno de escala a ser utilizado no modelo, como não há, necessariamente, uma relação linear entre o aumento dos *inputs* e um consequente e proporcional aumento nos *outputs*, assim como não há uniformidade na parte dos DMUs analisados, o que ficou claro nas etapas do teste de valores extremos e no de normalidade dos dados, optou-se pelo modelo BCC, retorno variáveis de escala.

### 6.3.5 Etapa 05 - Processamento do modelo DEA

A etapa de processamento do modelo DEA, definido nas etapas anteriores, consiste na aplicação da ferramenta DEA propriamente dita. A partir dos dados das DMUs e das variáveis utiliza-se um dos diversos *softwares* disponíveis no mercado, como os citados no capítulo anterior.



Neste trabalho optou-se pelo uso do *software* SIAD® (Sistema Integrado de Apoio a Decisão), desenvolvido por Angulo Meza *et al.* (2005). A opção por esse *software* foi por sua facilidade e ludicidade na utilização, sem ser necessário recorrer a manuais de ajuda e orientação, além do fato do SIAD® ser um programa de uso livre para todos os fins. A Figura 12 apresenta a interface do programa.

Figura 12 - Interface do *software* SIAD



Fonte: Autor (2016)

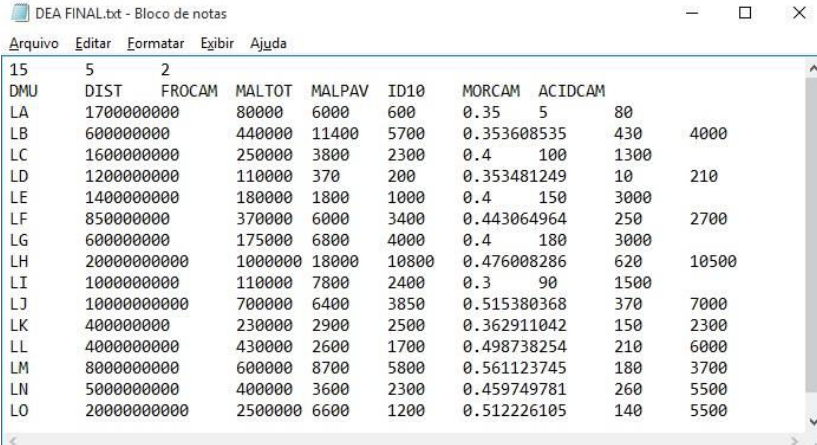
Os dados a serem imputados no *software* precisam estar em arquivo em formato específico (.txt) e organizados conforme mostra a Figura 13.

Como resultado do processamento do modelo, o *software* gera um arquivo com as informações sobre as eficiências das DMUs do modelo. A Tabela 24 apresenta os resultados de eficiência para o modelo considerado, mostrando as Eficiências Padrão, Invertida, Composta e Composta Normalizada (Composta\*).

Além dos escores de eficiências, outra possibilidade de resultado seria o gráfico da fronteira de eficiência. Porém, o *software* utilizado

neste trabalho, SIAD®, não dispõe dessa ferramenta, sendo um dos limitantes do trabalho.

Figura 13 - Dados dispostos em arquivo específico (.txt)



15	5	2							
DMU	DIST	FROCAM	MALTOT	MALPAV	ID10	MORCAM	ACIDCAM		
LA	1700000000		80000	6000	600	0.35	5	80	
LB	600000000		440000	11400	5700	0.353608535		430	4000
LC	1600000000		250000	3800	2300	0.4	100	1300	
LD	1200000000		110000	370	200	0.353481249		10	210
LE	1400000000		180000	1800	1000	0.4	150	3000	
LF	850000000		370000	6000	3400	0.443064964		250	2700
LG	600000000		175000	6800	4000	0.4	180	3000	
LH	2000000000		1000000	18000	10800	0.476008286		620	10500
LI	1000000000		110000	7800	2400	0.3	90	1500	
LJ	1000000000		700000	6400	3850	0.515380368		370	7000
LK	400000000		230000	2900	2500	0.362911042		150	2300
LL	4000000000		430000	2600	1700	0.498738254		210	6000
LM	8000000000		600000	8700	5800	0.561123745		180	3700
LN	5000000000		400000	3600	2300	0.459749781		260	5500
LO	2000000000		2500000	6600	1200	0.512226105		140	5500

Fonte: Autor (2016)

Tabela 24 - Resultados de eficiência para o modelo

DMU	Eficiências			
	Padrão	Invertida	Composta	Composta*
Localidade A	1,00	1,00	0,50	0,61
Localidade B	1,00	1,00	0,50	0,61
Localidade C	0,47	0,97	0,25	0,30
Localidade D	1,00	0,80	0,60	0,74
Localidade E	1,00	1,00	0,50	0,61
Localidade F	0,94	0,76	0,59	0,73
Localidade G	1,00	0,82	0,59	0,73
Localidade H	1,00	1,00	0,50	0,61
Localidade I	1,00	1,00	0,50	0,61
Localidade J	1,00	0,51	0,74	0,91
Localidade K	1,00	0,61	0,70	0,85
Localidade L	1,00	0,80	0,60	0,73
Localidade M	0,53	1,00	0,26	0,32
Localidade N	1,00	0,37	0,82	1,00
Localidade O	1,00	1,00	0,50	0,61

Fonte: Autor (2016)

### 6.3.6 Etapa 06 - Resultados

A partir da observação da Tabela 24, pode-se constatar que doze das quinze unidades avaliadas foram identificadas como eficientes, número excessivamente grande e que pouco as discrimina dentro do grupo considerado.

Além disso, quando se leva em consideração que a orientação do modelo é para *output*, ou seja, para a maximização das variáveis de saída (*outputs*), uma análise sob essa perspectiva seria errônea, haja vista que por essa ótica as melhores DMUs seriam aquelas em que seriam maximizados os números de mortes e acidentes envolvendo caminhões.

Assim, para contrapor essa ideia uma das soluções possíveis é o uso da Fronteira Invertida. De acordo com Mello *et al.* (2005), essa fronteira invertida é composta pelas DMUs com as piores práticas gerenciais (e podemos chamá-la de fronteira ineficiente), podendo-se igualmente afirmar que as DMUs pertencentes à fronteira invertida têm as melhores práticas sob uma ótica oposta. Além disso, deve-se considerar a ideia da eficiência composta e eficiência composta normalizada, que fornecem uma maior confiabilidade nos resultados.

Considerando os resultados da fronteira invertida e a eficiência composta como parâmetro de análise da eficiência das DMUs avaliadas, deve-se realizar a análise em uma ótica oposta, ou seja, as DMUs que obtiveram as menores pontuações serão as mais eficientes.

Com a análise da Tabela 25, a DMU mais eficiente do ponto de vista desta análise é a Localidade C, pois possui a menor pontuação na Eficiência Composta Padronizada. Pode-se entender que considerando as variáveis de entrada do modelo, a Localidade C possui a menor capacidade de gerar as variáveis de saída, ou seja, uma menor capacidade na geração de acidentes e mortes envolvendo caminhões.

Consequentemente, as DMUs que possuem as maiores pontuação na Eficiência Composta Padronizada, tem maior tendência a produzir as variáveis de saída, ou seja, sendo menos eficientes quanto a capacidade em evitar acidentes e mortes envolvendo caminhões. A Tabela 25 apresenta os resultados do método classificados de acordo com a eficiência, seguindo o método proposto neste trabalho.

Tabela 25 - Resultados do método classificados de acordo com a eficiência, seguindo o método proposto neste trabalho

Posição	Unidades	Eficiência no Modelo
1°	Localidade C	0,30
2°	Localidade M	0,32
3°	Localidade A	0,61
	Localidade B	0,61
	Localidade E	0,61
	Localidade H	0,61
	Localidade I	0,61
	Localidade O	0,61
9°	Localidade F	0,73
	Localidade G	0,73
	Localidade L	0,73
12°	Localidade D	0,74
13°	Localidade K	0,85
14°	Localidade J	0,91
15°	Localidade N	1,00

Fonte: Autor (2016)

### 6.3.7 Etapa 07 - Análises de Resultados

A partir das constatações da Etapa 06 – Resultados, podemos analisar, individualmente ou em grupo, as DMUs consideradas, ponderando seus resultados de acordo com o método utilizado, a partir dos dados levantados inicialmente nesta aplicação.

A localidade considerada mais eficiente, de acordo com o método, ou seja, a DMU que possui a menor capacidade de gerar os *outputs* do modelo, acidentes envolvendo caminhões e mortes em acidentes com caminhões, é a localidade C.

Com base nos dados disponíveis para a aplicação do método proposto no trabalho, expostos nas tabelas do item 6.3.1, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, pode nos afirmar que o excelente resultado obtido pela localidade C pode ser explicado por um equilíbrio entre as variáveis de entradas consideradas (*input*) além do baixo número de mortes e acidentes envolvendo caminhões, variáveis de saída do modelo, sendo essas apenas, respectivamente, a 12ª e 13ª maiores dentre as DMUs analisadas.

Com o melhor resultado dentre as DMUs analisadas (com pontuação de 0,30), a localidade C pode servir de *benchmarking* para as demais DMUs que compõem o modelo, ou seja, suas ações e

infraestrutura podem servir de referência para o melhoramento das demais.

A localidade considerada menos eficiente, de acordo com o método, ou seja, a DMU que possui a maior capacidade de gerar os *outputs* do modelo, acidentes envolvendo caminhões e mortes em acidentes com caminhões, é a localidade N.

O péssimo resultado da localidade N, a pior dentre as quinze DMUs analisadas, pode ser explicado pelo desequilíbrio entre *inputs* e *outputs*. Essa localidade apresenta baixos números nas variáveis de entrada (*input*), como por exemplo, da malha total e malha pavimentada que representam, respectivamente, 11º e 10º menores valores. Apesar disso, possui alto número de *outputs*, possuindo o 4º maior número de acidentes e mortes envolvendo caminhões, dentre as DMUs avaliadas.

Com o pior resultado dentre as DMU avaliadas (com pontuação de 1,0), a localidade N possui condições infraestruturas que favorecem os acidentes envolvendo caminhões e, conseqüentemente, o número elevado de mortes no TRC.

A partir de considerações sobre os resultados do método, as instituições privadas podem determinar rotas mais seguras dentro de uma malha considerada, além de auxiliar na definição de valores de seguros de acordo com o nível de exposição às malhas mais inseguras.

Em nível dos organismos públicos, essas informações podem servir para o serviço público elaborar estratégias com o intuito de diminuir as estatísticas de acidentes e mortes onde há uma maior concentração destas, além disso, pode auxiliar na priorização de investimentos nas áreas onde há maior ocorrência de acidentes.



## 7 CONCLUSÃO

### 7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho teve como objetivo principal a proposição de um método para a avaliação do nível de segurança no transporte rodoviário de cargas, a partir do uso da Análise Envoltória de Dados.

Fundamentando a pesquisa, foi realizada uma detalhada revisão bibliográfica sobre os principais tópicos relacionados tanto a Análise Envoltória de Dados quanto ao Transporte Rodoviário de Cargas. Constatou-se que há grande carência de estudos sobre a DEA no Brasil, principalmente os relacionados a transportes. Internacionalmente, apesar de mais animador, o cenário de pesquisas ainda mostra-se bastante restrito, oferecendo assim, campo amplo de possibilidade para sua aplicação em transportes.

Após a revisão, realizou-se uma pesquisa sobre os principais estudos e práticas relacionados com os temas do trabalho, visando conhecer como é avaliada a segurança atualmente.

A partir da revisão bibliográfica e principais estudos e práticas, desenvolveu-se o método do trabalho, iniciando-se a partir do levantamento inicial de informações sobre os objetos do estudo. Em seguida, é realizada a determinação das unidades de tomada de decisão (DMU) que comporão o modelo.

A análise e seleção das variáveis talvez seja a principal etapa do trabalho e também a mais controversa, pois, baseadas em uma série de análises fundamentadas em experiência e conhecimento sobre o tema, bem como de critérios estatísticos, serão definidas as variáveis que comporão o modelo analítico.

A partir dessa análise, tornou-se possível a identificação das variáveis que mais impactam a segurança no transporte rodoviário de cargas dentro do grupo considerado. O modelo desenvolvido neste trabalho é uma tentativa de simular a realidade, sendo assim, existem outras variáveis que afetam a segurança no TRC que não foram consideradas neste trabalho, devendo ser objetos de estudo futuros.

Outra etapa igualmente importante é a definição do modelo DEA, que consiste na definição dos critérios relacionados a ferramenta DEA, como orientação e retorno de escala. Imediatamente após a essa determinação, é executado o processamento do modelo em *software* específico para esse tipo de análise.

Finalizando o método, a etapa de resultados e análise de resultados é constatação de quais são as unidades avaliadas que se apresentam eficientes. Optou-se, diferentemente da maioria dos trabalhos pesquisados, por uma análise de maneira inversa, ou seja, as unidades que obtiveram as menores pontuações no modelo são as mais eficientes. Sendo que se considera eficiente a unidade que possui a menor capacidade de transformar as variáveis de entrada (*Input*) nas variáveis de saída (*Output*), neste caso número de acidentes e mortes envolvendo caminhões.

Visando comprovar a funcionalidade do método proposto realizou-se uma aplicação deste para um grupo de quinze localidades fictícias, pertencentes a região Alfa, com dados baseados em localidades em reais. Para avaliar a segurança quanto acidentes e mortes no TRC foram utilizadas dezesseis variáveis relacionadas. Assim, a partir do método proposto, foi criado um ranking das unidades, sendo classificadas de acordo com sua eficiência em não produzir as saídas indesejáveis (outputs), acidentes e morte envolvendo caminhões, tendo como base na análise das variáveis de entrada (inputs) previamente selecionadas.

Como resultado da análise, foi identificada a localidade C como a mais eficiente em não produzir os acidentes e mortes no TRC, sendo essa referencia para unidades ineficientes, subsidiando desta maneira, o estudo de ações públicas e privadas buscando a melhoria de seus indicadores de segurança quanto ao TRC.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) correspondeu satisfatoriamente às avaliações e análises necessárias neste estudo sobre a segurança no Transporte Rodoviário de Cargas. Como base no método, tornou-se possível a construção de uma pontuação onde é representada a classificação das unidades avaliadas de acordo com as variáveis que afetam o fenômeno, oferecendo subsídios para a determinação de melhores opções no transporte em termos de segurança, além de facilitar o processo de tomada de decisão quanto a investimentos públicos em segurança rodoviária.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São diversas as possibilidades de estudos que podem ser desenvolvidos a partir dos temas relacionados a este trabalho. A seguir serão mencionadas algumas possibilidades recomendadas para trabalhos futuros:



- Realizar estudos comparando unidades nacionais com internacionais visando avaliar estágios de evolução, investimentos e as praticas bem sucedidas (*benchmarking*);
- Estudo avaliando a evolução dos índices de acidentes e mortes em relação aos investimentos despendidos pelas localidades selecionadas;
- Investigar com especialistas e gestores do Transporte Rodoviário de Cargas quais as variáveis que melhor descrevem a segurança no setor;
- Análise cronológica de unidades, visando avaliar a eficiência ao longo do tempo;
- Avaliar as causas das eficiências e ineficiências de unidades no TRC a partir do resultado de um modelo DEA;
- Ampliação dos estudos utilizando a ferramenta DEA dentro do setor de transportes;
- Implementação de um modelo computacional com base no método proposto nesta dissertação.



## REFERÊNCIAS

- ABCR. Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. Cenários & Tendências. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abcr.org.br>>. Acessado em 19 de ago. de 2014.
- ABDEL-ATY, M. A.; RADWAN, A. E. Modeling traffic accident occurrence and involvement, *Accident Analysis and Prevention* 32(5), 633–642. 2000.
- ALANO, Fernando. A Decisão de Compra de Frete Rodoviário Internacional – O Caso da Carga Seca, Modalidade Fechada, Porta a Porta. Dissertação de Mestrado em Administração. UFRS, 2003.
- ALBANO, João Fortini. Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos. 2005. 232 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ALMEIDA, Mariana Rodrigues de; MARIANO, Enzo Barberio; REBELATTO, Daisy Aparecida do Nascimento. Análise de eficiência dos aeroportos internacionais brasileiros. *Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. ISSN 1676 – 1901. 2007.
- ANASTASOPOULOS, P.; MANNERING, F.L. A Note on Modeling Vehicle Accident Frequencies with Random-Parameters Count Models, *Accident Analysis and Prevention* 41(1), 153–159. 2009.
- ANDERSON, T. A data envelopment analysis (DEA) home page. Portland State University. Portland, 1997.
- ANGULO MEZA, L. Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1998.
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a *software* package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, (3), p. 493-503, 2005
- ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2012. Disponível em [www.antt.gov.br](http://www.antt.gov.br). Acessado em: 15 de agosto de 2014.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução nº. 2550. Dispõe sobre o exercício da atividade de transporte rodoviário de carga por conta de terceiros e mediante remuneração e estabelece procedimentos para inscrição no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga RNTRC, e dá outras providências. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Diário Oficial da União, 14 de fevereiro de 2008.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução nº. 3.056. Dispõe sobre o exercício da atividade de transporte rodoviário de cargas por conta de terceiros e mediante remuneração, estabelece procedimentos para inscrição e manutenção no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas - RNTRC e dá outras providências. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Diário Oficial da União, 13 março 2009.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. RNTRC em números. 2014. Disponível em: <[http://appweb2.antt.gov.br/rntrc\\_numeros/rntrc\\_emnumeros.asp](http://appweb2.antt.gov.br/rntrc_numeros/rntrc_emnumeros.asp)>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ARAÚJO, C. E. F. Análise de eficiência nos custos operacionais de rotas do transporte escolar rural. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM - 002A/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 135p. 2008.

ARAÚJO, Maria da Penha S.; BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello; CAMPOS, Vania Barcellos Gouvêa. Custos e fretes praticados no transporte rodoviário de cargas: uma análise comparativa entre autônomos e empresas. Journal Of Transport Literature, São José dos Campos, SP, v. 8, n. 4, p.187-226, ago. 2014.

AZAMBUJA, A.M.V. Análise de eficiência na gestão do transporte urbano por ônibus em municípios brasileiros. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - UFSC, 2002. Disponível em <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/2066.pdf>. Acesso em 20/11/2007

BADIN, Neiva Teresinha. Avaliação da produtividade de supermercados e seu *Benchmarking*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC. 1997.

BARR, L.; YANG, C.; HANOWSKI, R.; OLSON, R. An Assessment of Driver Drowsiness, Distraction, and Performance in a Naturalistic Setting. 2011.

BARR, R. S. DEA *software* tools and technology: a state-of-the-art survey. EMIS, c. 16, p. 1-29, 2004.

BASTOS, Jorge Tiago *et al.* Assessing Road Safety Performance by Data Envelopment Analysis – The Case of Brazil. In: CICTP: SAFE, SMART, AND SUSTAINABLE MULTIMODAL, 2014. Changsha, China, 2014.

BASTOS, Jorge Tiago. GEOGRAFIA DA MORTALIDADE NO TRÂNSITO NO BRASIL. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BELÉM JR, J. S. Proposta Metodológica para Avaliação do Nível de Serviço das Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM- 012 A/2007, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 107p. 2007.

BELLONI, José Ângelo. Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de Universidade Federais Brasileiras. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC. 2000.

BLOWER, D.; GREEN. P.; MATTESON, A. Condition of Trucks and Truck Crash Involvement. Journal of the Transportation Research Board, 2194, 21-28. 2010.

BLOWER, Daniel; WOODROOFFE, John. Survey of the Status of Truck Safety: Brazil, China, Australia, and the United States. The University of Michigan, Transportation Research Institute. May, 2012.

BOWERSOX, Donald J.e CLOSS, David J. Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.

BOWLIN, William F. Measuring performance: an introduction to Data Envelopment Analysis. The Journal of Cost Analysis, Fall 1998.

www.sceaonline.net/Journ\_Fall98\_BOWLIN.pdf. Fev. 2002.  
(Atualizado para www.sceaonline.net em 9 ago. 2002).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Geral. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Custos de acidentes de trânsito nas rodovias federais: sumário executivo. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.611 de 19 de fevereiro de 1998. Regulamento Dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, P. 9. 20 fev. 1998. Disponível em: [HTTP://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9611.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9611.htm). Acesso em: 08 out. 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis no setor energético. Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Lei nº 10.336, 19 de dezembro de 2001. Institui Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível (Cide). Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9611.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9611.htm). Acessado em: 16 de agosto de 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de Informações de Mortes (Datasus). Mortes por causas externas no período 2004 - 2008. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/extsp.def>. Acesso em: 15 dez. 2014.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Lei Nº 11.442, de 5 de Janeiro de 2007. Dispõe sobre o transporte rodoviário de cargas por conta de terceiros e mediante remuneração. Brasília: Diário Oficial da União. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11442.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11442.htm)>. Acessado em: 16 de agosto de 2014.

BRASIL. Plano Nacional de Transportes e Logística. Centro Nacional de Excelência em Engenharia de Transportes (CENTRAN). Ministério dos Transportes e Ministério da Defesa, 2006. Disponível em: <[http://www.centran.eb.br/plano\\_logistica.htm](http://www.centran.eb.br/plano_logistica.htm)>. Acessado em julho de 2014.

BRUNETTA, M.R. (2004). Avaliação da eficiência técnica e de produtividade usando Análise por Envoltória de Dados: um estudo de caso aplicado a produtores de leite. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CAIXETA FILHO, J. e MARTINS, R. Gestão logística do transporte de cargas, São Paulo: Atlas. 2011.

CANTOR, D.; CORSI, T.; GRIMM, C.; OZPOLAT, K. A Driver Focused Truck Crash Prediction Model. *Transportation Research Part E*, 683-693. 2009.

CARSON, J., MANNERING, F. The Effect of Ice Warning Signs on Accident Frequencies and Severities, *Accident Analysis and Prevention* 33(1), 99-109. 2001.

CERETTA, P. S.; NIEDERAUER, C. A. P. Rentabilidade e eficiência do setor bancário brasileiro. in: Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação em Administração, Florianópolis. Anais. Florianópolis: ANPAD, 2000.

CHARNES, A; COOPER, W. W.; RHODES, E. Data envelopment analysis: theory, methodology and applications. 2nd ed. Norvell Kluwer Academic Press, 1996.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; LEWIN, Arie Y.; SEIFORD, Lawrence M. Data Envelopment Analysis: theory, methodology, and application. Massachusetts (EUA): Kluwer, 1997.

CHIN, H. C.; QUDDUS, M. A. Applying the Random Effect Negative Binomial Model to Examine Traffic Accident Occurrence at Signalized Intersections, *Accident Analysis and Prevention* 35(2), 253-259. 2003.

CIBULSKA, P.; TEDESCO, G.; VILLELA, T.; GRANEMANN, S. Panorama da frota dos transportadores rodoviários remunerados de cargas no Brasil. XVI Congresso Pan-Americano de Engenharia de Tráfego e Transportes e Logística. Portugal. 2010.

CNM – Confederação Nacional do Municípios. Estudos Técnicos - Mapeamento das Mortes por Acidentes de Trânsito no Brasil. Brasília, DF, 14 de dezembro de 2009.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. Boletim Estatístico – Julho de 2014. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/>>. Acessado em: Julho de 2014.

CNT. Confederação Nacional dos Transportes. Plano CNT de transporte e logística. 2011. Disponível em [www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br). Acessado em: agosto de 2014.

COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., ZHU, J. (2004). Hand Book on Data Envelopment Analysis. Klumer Academic Publishers, Boston.

COOPER, W.; SEIFORD, L.; TONE, K., Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver *Software*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.

COOPER, W; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. Handbook on Data Envelopment Analysis. Series: International Series in Operations Research & Management Science, v.71, 608 p., Hardcover, 2004 Disponível em <http://www.deafrontier.com/hbchapter1.pdf>. Acesso em 13/01/2009

COPPEAD. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração. Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do País. Pesquisa. 2002. Disponível: <http://www.centrodelogistica.org/new/fs-public.htm>. Acesso em: Agosto de 2014.

CORRÊA, J.P. 20 anos de lições de trânsito: desafios e conquistas do trânsito brasileiro de 1987 a 2007. Curitiba: Infolio Editorial; 2009.

DE LEUR, P.; T. SAYED. A Framework for Proactively Consider Road Safety within the Road Planning Process. In Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 30, No. 4, pp. 711-719. 2003.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Sinopse do Transporte Rodoviário de Cargas. Brasil: Ministério dos Transportes, DNER, p. 215-221. 1976.

DOS REIS, N. Regulamentação do transporte rodoviário de cargas no Brasil e no Mundo. 2001. Disponível em: <[www.ntcnet.org.br/regtrc](http://www.ntcnet.org.br/regtrc)>. Acessado em: julho de 2014.

Equipe Estatcamp (2014). *Software Action*. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. URL <http://www.portalaction.com.br/>.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.



FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. Transporte Público Urbano. 2ª Ed. RiMa, São Carlos, 2004.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; RAIÁ JUNIOR, Archimedes; BEZERRA, Bárbara Stolte. Segurança no Trânsito. São Carlos: Grupo Gráfico São Francisco, 280 p. 2008.

FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. Administração de serviços: operações, estratégias e tecnologia de informação. Tradução de Service Management: operations, strategy, and information technology. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

FLEURY, P. Nota sobre o setor de transporte de cargas no Brasil. Rio de Janeiro: ILLOS - Instituto de Logística e Supply Chain. 2003.

FREITAS, Maxsoel Bastos de. Transporte rodoviário de cargas e sua respectiva responsabilidade civil. Jus Navigandi, Teresina, ano 8, n. 314, 17 maio 2004. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=5231>>. Acesso em: 7/9/2014.

Frente Trânsito Seguro. Acidentes com veículos de cargas: uma análise sobre acidentes de trânsito com caminhões nas rodovias. 2009. Disponível em: <<http://www.frentetransitoseguro.com.br/artigos/924-acidentes-com-veiculos-de-cargas-uma-analise-sobre-acidentes-de-transito-com-caminhoes-nas-rodovias>>. Acessado em: 19 de dezembro de 2014.

GALINDO, E. P. Análise Comparativa do Entendimento do Transporte como Objeto do Planejamento. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Distrito Federal, 2009.

GIACOMELLO, Cintia Paese; OLIVEIRA, Ronald Lopes de. Análise Envoltória de Dados (DEA): uma proposta para avaliação de desempenho de unidades acadêmicas de uma universidade. Revista GUAL, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 130-151, mai. 2014.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª Edição, São Paulo: Atlas, 2006.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. Omega Int. J. of Mgmt Sci., v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOMES, Ricardo A. Transporte Rodoviário de Cargas e Desenvolvimento Econômico no Brasil: Uma Análise Descritiva. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM 017-A/2006, Departamento

de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília 102p. 2006.

HAYNES, K. E.; DINC, M. Data Envelopment Analysis (DEA). Encyclopedia of Social Measurement, v. 1, p. 609-616, 2005.

HIJJAR, M. Preços de frete rodoviário no Brasil. Rio de Janeiro: ILLOS- Instituto de Logística e Supply Chain. 2008.

HJALMARSSON, L.; ODECK, J. Efficiency of trucks in road construction and maintenance: an evaluation with Data Envelopment Analysis. Goeteborgs Universitet. Goeteborg, Sweden. 1994.

HOFFMANN, Maria Helena. Programa preventivo para condutores acidentados e infratores. In: Comportamento humano no trânsito. São Paulo: Casa do psicólogo, 2003. p. 229-247.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras: relatório executivo. Brasília (DF). 2006.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas - Síntese da pesquisa. Brasília, maio de 2003.

JUBRAN , A. J., Modelo de análise de eficiência na administração pública: estudo aplicado às prefeituras brasileiras usando a análise envoltória de dados. São Paulo, Tese (doutorado). 2006.

KANESIRO, Janaína Cristina. Desempenho Econômico-Financeiro e Análise Envoltória de Dados (DEA): um estudo em meios de hospedagem no Brasil. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Pós-graduação em Turismo e Hotelaria, Universidade do Vale do Itajaí – Univali, Balneário Camboriú, 2008.

KASSAI, S. Utilização da análise envoltória de dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis.. 318p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

KITTELSEN, Sverre A. C. Stepwise DEA: choosing variables for measuring technical efficiency in Norwegian electricity distribution. Memorandum N° 6/93 from Department of Economics, University of Oslo, 1993.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia Científica. 4ª Edição, São Paulo, Atlas, 2004.

LEE, J., MANNERING, F. Impact of Roadside Features on the Frequency and Severity of Run-off-Roadway Accidents: An Empirical Analysis, *Accident Analysis and Prevention* 34(2), 149–161. 2002.

LETA, F. R.; SOARES de MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; ÂNGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. *Investigação Operacional*, Lisboa, v. 25, n. 2, p. 229-242, 2005.

LIMA, I. Acidentes em estradas custam R\$ 22 bilhões/ano. Carga pesada, *Ampla Editora*: Londrina PR, n.133, ago/set 2007, p28-29. 2007.

LINS, M.P.E.; MEZA, L.A. (2000). Análise envoltória de dados e perspectivas de integração no meio ambiente de apoio à decisão. Rio de Janeiro: Coppe.

LOPES, N. L. O Desenvolvimento da Indústria Automobilística e o Transporte Rodoviário no Brasil no Século XX. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Ciências Econômicas. Porto Alegre, 2009.

MAÇADA, A. C. G.; BEEKER, J. L. Measuring the efficiency of investments in information technology in Brazilian Banks. In: *Second International Conference on Operations and Quantitative Management (ICOQM-II)* Ahmedabad, Anais... India: The Land of Mahatma Gandhi, 1999.

MACEDO, M. A. S et. al. Avaliação da Eficiência dos Investimentos em TI de Empresas de Tecnologia através da Análise Envoltória de Dados (DEA). In: *VIII Seminários em Administração da USP - SEMEAD*, São Paulo, Anais, 2005.

MALYSHKINA, N. V.; MANNERING, F. L.; TARKO A. P. Markov Switching Negative Binomial Models: An application to Vehicle Accident Frequencies”, *Accident Analysis and Prevention* 34(2), 149–161. 2009.

MANHEIM, M. L. Fundamentals of Transportation Systems Analysis. Vol. 1: Basic Concepts. Cambridge, MIT Press, 1980.

MARIANO, E. B. Sistematização e comparação de técnicas, modelos e perspectivas não paramétricas de análise de eficiência produtiva.

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, EESC USP, São Carlos, 2008

MARTINS, S. Estudo da formação do frete rodoviário e potencial de conflitos em negociações. cadeias do agronegócio Brasileiro, vol. 10, n. 1, pp. 73-87. 2008. Disponível em: <<http://revista.dae.ufla.br>>. Acessado em: agosto de 2014.

MATTOS, João Rodrigo; ALBANO, João Fortini. Veículos de carga e segurança rodoviária. In: SEPROSUL – SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL-AMERICANA, VII, 2007, Salto, Uruguay. Veículos de carga e segurança rodoviária. 2007.

MELLO, J. C. C. B. S. *et al.* Curso de análise de envoltória de dados. In. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Gramado, 2005.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; MEZA, Lidia Angulo; GOMES, Eliane Gonçalves; BIONDI NETO, Luiz. Curso de análise de envoltória de dados. XXXVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável. Anais do XXXVII SBPO. Gramado (RS), 27 a 30 de setembro 2005.

MEZA, Lúcia Angulo. Data Envelopment Analysis (DEA) na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 1998.

MIN, Hokey; JOO, Seong Jong. *Benchmarking* the operational efficiency of Major U.S. Trucking firms using Data Envelopment Analysis. Journal of Transportation Management. Vol. 14, no. 2, pg. 22-34. 2003.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis no setor energético. Brasília, 2006.

Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS – DATASUS Informações em saúde. Brasília (DF); 2008. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informações de Mortes - Datasus. Mortes por causas externas no período 2004-2008. Disponível

em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/extsp.def>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

MINKEN, H. Efficiency measuring with Data Envelopment Analysis (DEA); example from the trucking industry. Norwegian Institute of Transport Economics. Oslo, Norway. 1994.

MOITA, M. H. V. Um Modelo para Avaliação da Eficiência Técnica de Professores Universitários Utilizando Análise de Envoltória de Dados: o caso dos Professores da área de Engenharias. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2002.

NIEDERAUER, C. A. P. Avaliação dos bolsistas de Produtividade em Pesquisa da Engenharia da Produção utilizando Data Envelopment Analysis. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1998.

NIEDERAUER, C. A. P. Ethos: um modelo para medir a produtividade relativa de pesquisadores baseado na análise por envoltória de dados. Tese de Doutorado. Apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, UFSC, 2002.

NORMAN, Michel; STOKER, Barry. Data Envelopment Analysis: the assessment of performance. Chichester: John Wiley, 1991.

NOVAES, Antonio G. N. (2001). Rapid-transit efficiency analysis with the assurance region DEA method. Pesquisa Operacional, v.21, n°2, p. 179 – 197.

NOVAES, L. F. L. Envoltória Sob Dupla ótica aplicada na avaliação imobiliária em ambiente do sistema de informação geográfica. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Produção. UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

NOVAES, Luiz Fernando de Lyra. Função fronteira de produção aplicada para avaliação de eficiência entre plataformas de petróleo – Data Envelopment Analysis – (D.E.A.). Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 1998.

ODECK, J. Measuring productivity growth and efficiency with data envelopment analysis. An application of the norwegian road sector. Goeteborgs Universitet. Goeteborg, Sweden. 1993.

OLIVEIRA, H. C.; GOMES, A. P. Eficiência na agroindústria avícola mineira. In Congresso de Ciências Humanas, Letras e Artes. Ouro Preto, 2001

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (Org.). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción. Ginebra, 2009. 227 p. Disponível em: <[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2009](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009)>. Acesso em: 29 jan. 2015.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. The Global Burden of Disease: 2004 update. Geneva: 2008.

ORTÚZAR, J. e WILLUMSEN, L. Modelling Transport. West Sussex: John Wiley. 1994.

PAI, Dinesh. The US motor carrier industry: Estimation of operational efficiency using DEA. International Journal of Logistics Systems and Management. Vol. 12 no. 2, pg. 227-245. 2012.

PAIVA, F. C.. Eficiência produtiva de programas de ensino de pós-Graduação da área das engenharias: uma aplicação do método análise envoltória de dados – DEA. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2000.

PAIXÃO, Wdnei R.; KOMATI, Karin S.. Uma aplicação baseada em SIG para análise de acidentes de trânsito: estudo de caso na rodovia BR-101/ES. Instituto Federal do Espírito Santo (IFES – Campus Serra). Serra, ES. 2012.

PARK, B. J.; LORD, D.; HART, J. D. Bias Properties of Bayesian Statistics in Finite Mixture of Negative Binomial Regression Models in Crash Data Analysis, Accident Analysis and Prevention 42(2), 741–749. 2010.

PARK, S.; JOVANIS, P. Hours of Service and Truck Crash Risk. Journal of the Transportation Research Board, 2194, 3-10. 2010.

PEREIRA, M. F. Mensuramento da Eficiência Multidimensional Utilizando Análise de Envelopamento de Dados: Revisão da Teoria e Aplicações. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

PEREIRA, Olyntho Carmo. Soluções de otimização da eficiência energética de uma ferrovia de carga: O caso da Estrada de Ferro Carajás

– EFC. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

PÉRICO, Ana Elisa. A relação entre as infraestruturas produtivas e o produto interno bruto (PIB) das regiões brasileiras: uma análise por envoltória de dados. Tese (Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São. Área de concentração: Economia e Finanças Corporativas. São Carlos, 2009.

PERRUPATO, Marcelo. Planejamento Estratégico dos Transportes no Brasil - Um caso de Sucesso Mundial. Santa Maria, RS: Ministério dos Transportes, 93 slides, color. 2012.

PIMENTEL, Julio César dos Santos. Eficiência Tributária: um estudo do desempenho das regiões fiscais da Receita Federal do Brasil na arrecadação de imposto de renda entre 1995 e 2006. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Gestão Pública. 219 p. : il. ; 30 cm. Ribeirão Preto, 2009.

POCH, M.; MANNERING, F. Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies”, Journal of Transportation Engineering 122(2), 105–113. 1996.

RIBEIRO, Elton Lobato; JÚNIOR, José Carlos Ribeiro da Silva; AZEVEDO, Francisco Honeidy Carvalho. PRODUÇÃO CIENTÍFICA ACERCA DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL. Saúde em Foco, Teresina, PI, v. 1, n. 2, p.149-166, dez. 2014.

RICHARDSON, R. J. Pesquisa Social: Métodos e Técnicas. 3ª Edição, São Paulo, Editora Atlas, 1999.

RIOS, L. R., MAÇADA, A.C. & BECKER, J. L. (2004). Medindo a eficiência das operações dos terminais de containers brasileiros. In: II Concurso Gaúcho de Artigos sobre Comércio Exterior. São Leopoldo. Anais II CGACE.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio. Gestão Estratégica da Armazenagem. 2ª Edição. Aduaneiras, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrosio. Introdução aos sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional. 3ª Edição, revisada e ampliada. Aduaneiras, São Paulo, 2003.

RODRIGUES, Paulo Roberto Ambrósio. Introdução aos sistemas de transportes no Brasil e à logística Internacional. 5. Ed. São Paulo: Aduaneiras, 2014.

SAMPAIO, B. R., SAMPAIO, Y. SAMPAIO, L. M. B. (2006). Eficiência nos sistemas de transporte público no Nordeste com Análise Envolvória de Dados (DEA). Revista econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 37, nº 2, abr-jun.

SANDRONI, P. Dicionário da Economia do Século XXI. Rio de Janeiro: Editora Record, 2005.

SANTOS, L.; RAIÁ JÚNIOR, A. A. Análise dos acidentes de trânsito do município de São Carlos – SP – Brasil, utilizando sistema de informações geográficas e ferramentas de estatísticas espacial. Pluris 2006. São Carlos, SP, 2006.

SANTOS, Luciano dos. Análise dos acidentes de trânsito do Município de São Carlos utilizando Sistema de Informação Geográfica – SIG e ferramentas de estatística espacial. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Dissertação de mestrado, 136 p., 2006.

SAVOLAINEN, P.T.; TARKO, A.P. Safety Impacts at Intersections on Curved Segments, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1908, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC,130–140. 2005.

SCHROEDER, Élcio Mário; CASTRO, José Carlos de. Transporte Rodoviário de Carga: Situação Atual e Perspectivas. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 6, dez. 1996.

SHANKAR, V.; MANNERING, F.; BARFIELD, W. Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Accident Frequencies”, Accident Analysis and Prevention 27 (3), 371–389. 1995.

SHANKAR, V.; MILTON, J.; MANNERING, F. Modeling Accident frequencies as Zero-Altered Probability Processes: An Empirical Inquiry”, Accident Analysis and Prevention 29(6), 829–837. 1997.

SHANKAR,V.; ALBIN, R.; MILTON, J.; MANNERING, F. Evaluating Median Crossover Likelihoods with Clustered Accident Counts: An Empirical Inquiry using the Random Effects Negative Binomial Model, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1635, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 44–48. 1998.



SILVA, T. L. ; MARTINS FILHO, C. ; RIBEIRO, E. P. Análise dos Modelos Não-Paramétricos DEA e FDH e de seus Procedimentos para Inferência. in: X Encontro de Economia da Região Sul, 2007, Porto Alegre. Anais do X Encontro de Economia da Região Sul, 2007.

SOARES, M. e CAIXETA, F. Caracterização do mercado de fretes rodoviários para produtos agrícolas. São Paulo. 1997. Disponível em [www.log.esalq.usp.br](http://www.log.esalq.usp.br). Acessado em: agosto de 2014.

SOUZA, Maria de Fátima Marinho de; MALTA, Deborah Carvalho; CONCEIÇÃO, Gleice Margarete de Souza; SILVA, Marta Maria Alves da; GAZAL-CARVALHO, Cynthia; MORAIS NETO, Otaliba Libânio de. Análise descritiva e de tendência de acidentes de transporte terrestre para políticas sociais no Brasil. Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde, Vol 16, pg. 33–44, 2007.

SOUZA, Maria Goretti Zago Nunes de. Avaliação da eficiência energética usando análise envoltória de dados: aplicação aos países em desenvolvimento / M.G.Z.N. de Souza. 177 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. Ed.rev. São Paulo, 2012.

SOUZA, Vanessa dos Reis de; CAVENAGHI, Suzana; ALVES, José Eustáquio Diniz; MAGALHÃES, Mônica de Avelar Figueiredo Mafra. Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro. Revista brasileira de estatística populacional. São Paulo, v. 25, n. 2, p. 353-364, jul./dez. 2008.

TAVARES, G. A bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-2001), Rutcor Research Report, Rutgers University, 2002. Disponível em [http://rutcor.rutgers.edu/pub/rrr/reports2002/1\\_2002.pdf](http://rutcor.rutgers.edu/pub/rrr/reports2002/1_2002.pdf). Acesso em 17/12/2014.

TEDESCO, G. M. I. Transporte Rodoviário de Cargas: contribuição conceitual e metodológica à análise e classificação de mercados. Tese de doutorado em Transportes, Publicação T.D.004A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 202p. 2012.

TEIXEIRA, João Francisco Othon. Mapeamento e análise dos acidentes de trânsito na cidade de Catanduva, SP com auxílio de Sistema de Informações Geográficas – SIG. Centro Universitário de Araraquara.

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Dissertação de mestrado, 94f. 2012.

TORESAN, L. Sustentabilidade e desempenho produtivo na agricultura: uma abordagem multidimensional aplicada a empresas agrícolas. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

TRINDADE, Jr. R.E. e NASSI, C. D. A miséria como causa dos acidentes de trânsito no Brasil. 2008.

VASCONCELLOS, M. A. S.; OLIVEIRA, R. G. Manual de microeconomia. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010. 317p. ISBN 978-85-224-2281-4.

WU, H.; Z. ZHANG. A Framework For Developing Road Risk Indices Using Quantile Regression Based Crash Prediction Model. In Transportation Research Board 91st Annual Meeting, CD-ROM. Washington, D.C., 2012.

YUN, Y. B.; NAKAYAMA, H.; TANINO, T. A generalizad model for data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, p. 87-105, 2004.

YUNOS, Jamaluddin Mohd e HAWDON, David. The Efficiency of the National Electricity Board in Malaysia: an intercountry comparison using DEA. Energy Economics, 19, p. 255-269, 1997.